

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА ОХЛАЖДЕНИЯ УЗЛОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЛОКОМОТИВА



В.И. Киселев



Т.О. Вахромеева

В данной статье рассматриваются вопросы устранения недостатков существующих конструкций тяговых электродвигателей локомотивов. Представлено предложение технических решений для повышения надежности работы тяговых двигателей посредством улучшения системы охлаждения.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, изоляция, система принудительного охлаждения, вентиляционные каналы

EDN: GDTNWQ

Анализ технического состояния тяговых электродвигателей (ТЭД) за последние 20 лет показывает, что процент отказа электродвигателей находится на уровне 20–30% от общего числа отказов локомотивов.

Среди принимаемых мер по снижению отказов двигателей следует отметить исследования по совершенствованию систем изоляции ТЭД. Работ по повышению эффективности охлаждения узлов электродвигателей локомотивов в настоящее время почти нет.

Рост весов поездов и скоростей движения приводит к повышению нагрева изоляции обмоток, необратимому ее старению и снижению электрической и механической прочности. Повышение температуры изоляции выше допустимой на 8–10°C снижает срок ее службы в два раза (Правило Монтзингера) [1].

Темпы теплового старения внутренней изоляции определяются скоростями химических реакций, зависящими от температуры. Обычно полагают, что срок службы при тепловом старении обратно пропорционален скорости химических реакций. В этом случае отношение сроков службы изоляции τ_1 и τ_2 при разных температурах T_1 и T_2 будет выражаться

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = 2^{\frac{(T_1 - T_2)}{\Delta T}},$$

где ΔT — повышение температуры, вызывающее сокращение срока службы изоляции при тепловом старении в 2 раза.

Значение ΔT для разных видов изоляции лежит в пределах 8–12°C, а для изоляции тяговых электродвигателей составляет 10°C. Уравнение называют

Киселев Валентин Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: тяговый электрический привод подвижного состава железных дорог, надежность электрических машин, электромеханика. Автор более 100 научных работ.

Вахромеева Татьяна Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика подвижного состава, прочность механических конструкций, гидрогазодинамика. Автор 30 научных работ, в том числе пяти учебных пособий.

Морозов Владислав Олегович, аспирант кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность электрических машин, электромеханика, гидрогазодинамика. Автор четырех научных работ.

правилом Монтзингера, или правилом десяти градусов [2].

На долговечность изоляции также оказывают влияния термомеханические напряжения в обмоточно-изоляционных конструкциях, вызываемые разностью теплового расширения токопроводящей меди и ее изоляции.

ГОСТ 2582-2013 «Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия» устанавливает в эксплуатации более высокие температуры нагрева изоляции обмоток, ужесточая требования к нагревостойкости изоляционных материалов [3].

Допускаемые нормы температуры изоляции электрических машин в зависимости от классов нагревостойкости по отношению к температуре охлаждающего воздуха приведены в табл. 1.

Устанавливаемые правилами ремонта сопротивления изоляции обмоток относительно заземленных частей электрической машины и межвитковой изоляции должны быть не менее:

- 500 МОм в холодном состоянии;
- 1 МОм при температуре, близкой к рабочей температуре, установленной для данного класса нагревостойкости.

Сопротивление изоляции электрических машин, рассчитывается по формуле:

$$R_{из} = \frac{U_n}{1000 + 0,01P_n},$$

где U_n — номинальное напряжение, В;

P_n — номинальная мощность, кВт;

Для машин малой и средней мощности локомотивов предлагается проводить вычисление по упрощенной формуле:

$$R_{из} = \frac{U_n}{1000},$$

что соответствует величине сопротивления 1 МОм на 1000 В рабочего напряжения (1 кОм на 1 В).

В связи с изложенным, для ТЭД локомотивов предлагаются критерии оценок, приведенные в табл. 2.

Охлаждение узлов ТЭД не должно допускать превышения установленных норм нагрева изоляционных конструкций двигателя, для чего в конструкцию размещения узлов внутри двигателя должны быть внесены изменения, способствующие снижению сопротивления проходу воздуха.

Конструкциям охлаждения ТЭД отечественных локомотивов присущи отдельные недостатки, кото-

Таблица 1

Предельно допускаемые значения повышения температуры изоляционных конструкций тяговых электрических машин локомотивов

Узлы электрической машины	Класс нагревостойкости изоляции						
	Е	В	Ф	Н	200	220	250
Электрические машины постоянного и пульсирующего тока							
Обмотки главных и дополнительных полюсов, компенсационная обмотка	115	130	155	180	200	220	250
Обмотки якорей	105	120	140	160	180	200	220
Электрические машины переменного тока							
Обмотки статора. Вращающиеся и неподвижные обмотки возбуждения синхронных машин	115	130	155	180	200	220	250

Примечание. Температура охлаждающего воздуха, от которой отсчитывается нагрев изоляции, принимается равной 40°C.

Таблица 2

Оценки сопротивления изоляции ТЭД локомотивов

$R_{из}/U_n$, кОм/В	Качество изоляции
Менее 1	Неудовлетворительное
Равное 1	Удовлетворительное
Более 1	Хорошее

рые в настоящее время находятся вне поля зрения конструкторов и эксплуатационников:

1. Уменьшение диаметров вентиляционных отверстий сердечников якорей вследствие засорения их поступающим воздухом после охлаждения коллекторно-щеточного узла содержащие продукт износа щеток и коллекторных пластин. Наличие паров масла в охлаждающем воздухе (так как в холодное время воздух забирается из дизельного помещения) еще более ускоряет процесс отложения упомянутых продуктов в вентиляционных отверстиях.

При поступлении якорей электродвигателей на ремонт нередко обнаруживаются якоря не только с частично, но и с полностью забитыми продуктами износа вентиляционными отверстиями.

Устранение этого дефекта может быть достигнуто за счет разделения потока охлаждающего воздуха во внутренней полости электродвигателя на поток, идущий непосредственно в упомянутые вентиляционные отверстия и поток, охлаждающий коллекторно-щеточный узел и обмотки магнитной системы якоря (рис. 1) [4];

2. Дополнительные сопротивления потоку охлаждающего воздуха в полости электродвигателя создают ребра нажимных шайб сердечника якоря, частично перекрывающие вентиляционные отверстия прохода воздуха через сердечник (рис. 2). Наличие ребер снижает поток воздуха в вентиляционных отверстиях на 8–10%, что сказывается на эффективности охлаждения.

В качестве решения этой проблемы предлагаются конструкции дисковых нажимных шайб, аналогичных шайбам на ТЭД чешских маневровых тепловозов. В дисковых шайбах вентиляционные отверстия выполнены соосными с вентиляционными отверстиями сердечника якоря.

Непонятна позиция отечественных конструкторов в использовании реберных нажимных шайб вместо дисковых, несмотря на имеется негативный опыт эксплуатации таких шайб, на ребрах которых возникали трещины вследствие больших крутящих моментов, передаваемых шайбами от сердечника якоря на вал электродвигателя (в конструкциях ЭДТ-107). Конструкторы, вместо отказа от реберных шайб, пошли по пути внедрения нажимных шайб с утолщенными ребрами, что увеличивает сопротивление проходу охлаждающего воздуха в вентиляционные отверстия сердечника (ТЭД ЭД-118, ЭДУ-113). Совершенно непонятен отказ в применении положительного опыта надежной работы якорей ТЭД чешских маневровых тепловозов с дисковыми шайбами.

Авторами, в инициативном порядке были изготовлены подобные дисковые шайбы для электродвигателей ЭД-118 (вместо реберных), которые показали лучшие условия охлаждения в эксплуатации (рис. 3);

3. Наличие в системе охлаждения ТЭД так называемой прослойки смятого охлаждающего воздуха на поверхности коллектора вследствие его ребристости (обусловленная наличием продорожек между пластинами коллектора).

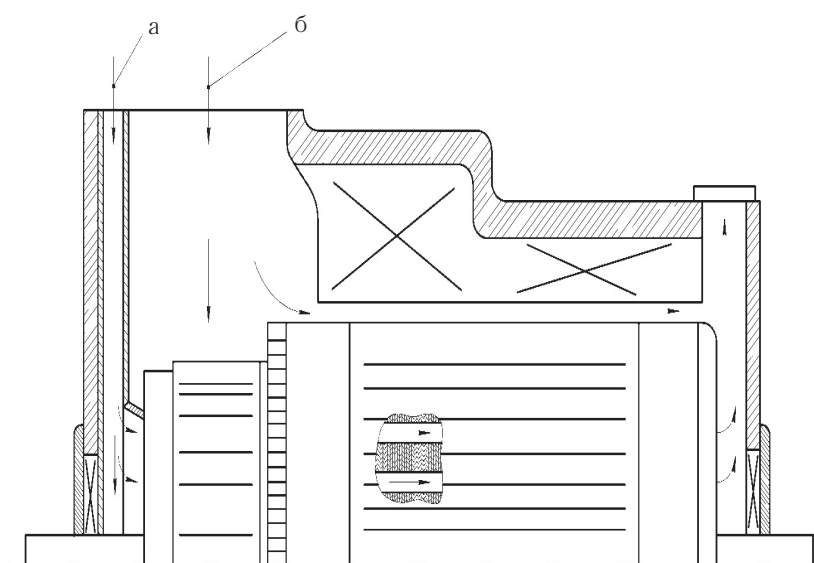


Рис. 1. Предлагаемая схема разделения потока охлаждающего воздуха внутри ТЭД:

а – к вентиляционным отверстиям сердечника якоря;

б – к коллекторно-щеточному узлу и обмоткам магнитной системы

Упомянутая прослойка воздуха (гипотеза впервые высказана авторами данной статьи), вращаясь вместе с коллектором, препятствует поступлению вновь охлаждающего воздуха непосредственно на поверхность коллекторных пластин якоря, вследствие чего отсутствует контакт свежего охлаждающего воздуха с поверхностью коллекторных пластин. Прослойка воздуха размещается между поверхностью коллектора и вновь поступающим воздухом от вентилятора электродвигателя и не способствует охлаждению коллектора якоря.

Данное нежелательное явление может быть устранено за счет разработки реверсивного устройства,

располагающегося в воздушной полости электродвигателя и направляющее поток охлаждающего воздуха по касательной к поверхности коллектора;

4. Охлаждение наиболее термонапряженных задних лобовых частей обмоток якоря осуществляется горячим воздухом, поступающим на лобовые части обмотки якоря после охлаждения коллектора, якоря и магнитной системы, что не способствует эффективному охлаждению.

Радикальным решением является изменение направления потока охлаждающего воздуха внутри ТЭД от наиболее нагретых задних лобовых частей к коллектору якоря, то есть противопо-

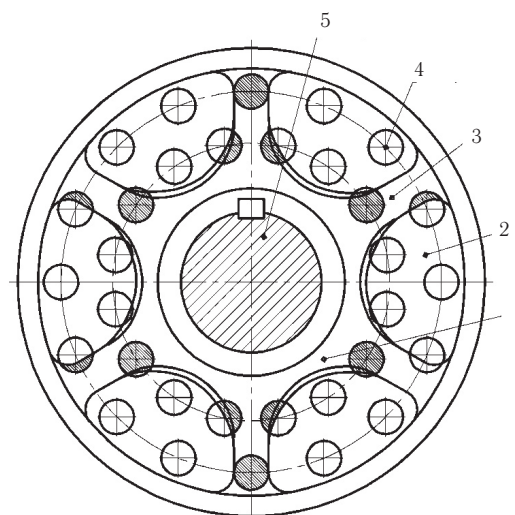


Рис. 2. Схема перекрытия вентиляционных отверстий сердечника ребрами нажимной шайбы якоря (заштрихованные отверстия): 1 – нажимная шайба с утолщенными ребрами; 2 – сердечник якоря; 3 – ребро нажимной шайбы; 4 – вентиляционное отверстие сердечника якоря; 5 – вал якоря

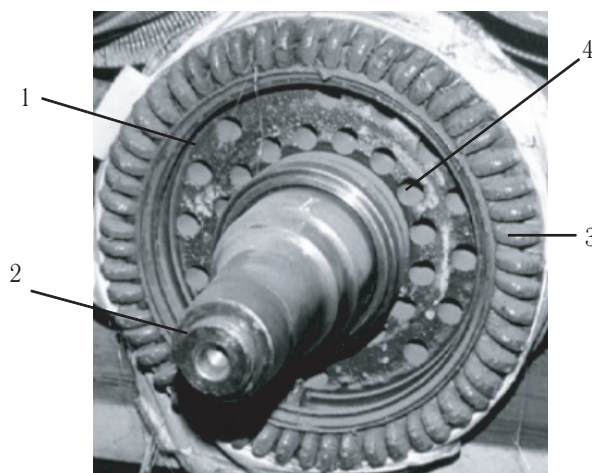


Рис. 3. Якорь ТЭД с нажимной шайбой, выполненной в виде диска: 1 – нажимной диск; 2 – вал якоря; 3 – лобовые части обмотки якоря; 4 – вентиляционные отверстия диска, соосные с отверстиями сердечника

ложное ныне существующему направлению потока воздуха (рис. 4).

При реализации данной схемы системы охлаждения устраняются негативные явления, изложенные в пунктах 1, 3, 4 данной статьи, а замена рёберных нажимных шайб на дисковые (см. пункт 2) будет способствовать повышению эффективности охлаждения ТЭД локомотивов.

Перед проектировщиками электрических машин стоит задача разработки рациональной системы охлаждения ТЭД в соответствии с предложениями авторов. В связи с большой сложностью теплового

и аэродинамического расчета электрических машин результаты расчета должны быть подтверждены экспериментальными исследованиями неизученных конструкций.

Авторы выражают надежду, что указанная публикация привлечет внимание конструкторских бюро Новочеркасского электровозостроительного завода, Брянского машиностроительного завода, Дирекции тяги ОАО «РЖД» и, на основе совместной работы с авторами статьи, предложенные технические решения будут успешно внедрены в отечественном локомотивостроении.

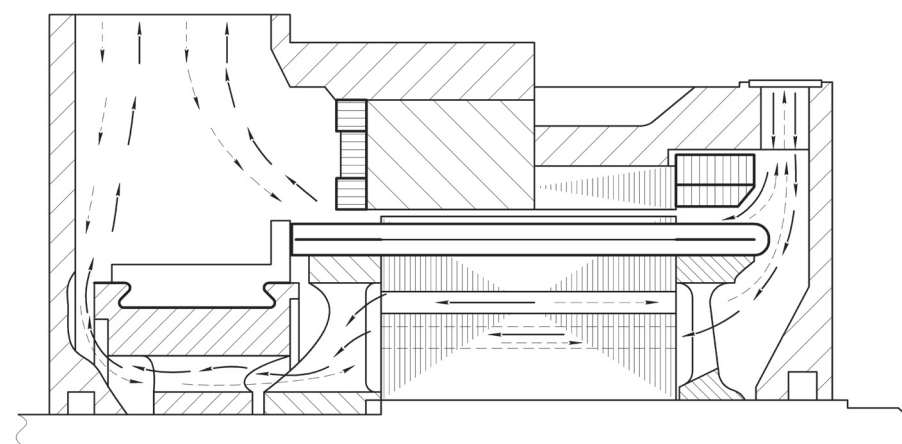


Рис. 4. Радикальное изменение потока воздуха в полости ТЭД:

— — предлагаемая схема; - - - - серийная схема

Литература

1. Бернштейн, Л. М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения / Л. М. Берштейн. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1971. - 367 с. - Текст : непосредственный.
2. Серебряков, А. С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / А. С. Серебряков. - Москва : Маршрут, 2005. - 278 с. - Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 2582-2013. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия = Rotating electrical traction machines for rail and road vehicles. General technical specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 1969-ст : введен впервые : дата введения 2015-01-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ») : внесена поправка, опубликованная в ИУС №3, 2019 год. Поправка внесена изготовителем базы данных : внесено изменение №1, утвержденное и введенное в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.01.2020 № 10-ст с 01.04.2020. Изменение №1 внесено изготовителем базы данных по тексту ИУС №3, 2020. - Москва : Стандартинформ, 2014. - 54 с. - Текст : непосредственный.
4. Патент № 2800043 С1 Российская Федерация, МПК H02K 9/04 (2006.01) .Тяговый электродвигатель: № 2022133381: заявл. 20.12.2022; опубликовано 17.07.2023 / В. И. Киселев, А. И. Федянин, В. О. Морозов; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». - Текст : непосредственный.