

М П С С С С Р
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

АШИРОВ СЕРВЕР

УДК 629.424.3:621.313.13

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ
ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
СРЕДНЕАЗИАТСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

05.22.07 — Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК — 1989

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Ташкентском институте инженеров железнодорожного транспорта и Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор
В. Д. КУЗЬМИЧ

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор
Э. Д. ТАРТАКОВСКИЙ
кандидат технических наук доцент В. Н. КРАСИЛЬНИКОВ

Ведущее предприятие — Управление Среднеазиатской железной дороги
г. Ташкент

Защита состоится 29 - сентября 1989 года на заседании специализированного совета К 114.07.01 при Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта по адресу: 320700, г. Днепропетровск, 10, ул. Академика Лазаряна, 2, ДИИТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 18 - августа 1989 г.

Отзыв на автореферат, заверенный печатью, просим направлять по адресу совета института.

Ученый секретарь
специализированного совета

Л. В. ПЕТРОВИЧ

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В решении задач, поставленных XXII съездом КПСС по развитию и совершенствованию работы железнодорожного транспорта большое значение уделяется увеличению пропускной и провозной способности железных дорог, что связано с повышением надежности работы эксплуатируемого парка тепловозов, в том числе, в условиях резких перепадов температур, характерных для Средней Азии, Казахстана, районов БАМ.

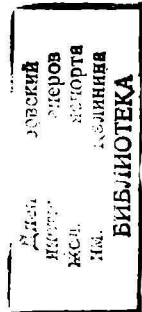
Элементы тяговых электродвигателей тепловозов (ТЭД) подвержены в процессе эксплуатации действию многочисленных неблагоприятных факторов. Сюда относятся значительные динамические нагрузки от неровностей и стыков рельсового пути, резкие изменения крутящего момента при боковании, эксплуатация в неблагоприятных климатических условиях.

5336a
Анализ показывает, что наиболее частой неисправностью ТЭД является перегрев, а как следствие пробой изоляции обмоток якорей на корпус, разрывка бандажей, межвитковые замыкания.

Например, на Среднеазиатской железной дороге отказы по названным причинам составили соответственно 8,1; 3,4; 18,1% от общего числа отказов ТЭД.

Выходы из строя изоляции ТЭД относятся к наиболее тяжелым неисправностям, их устранение связано с большими затратами, исчисляющимися в целом по стране десятками миллионов рублей в год. Поэтому задача повышения надежности и увеличения ресурсов изоляции ТЭД является актуальной

Целью работы является разработка и исследование системы охлаждения ТЭД тепловозов, использование которой позволяет



НТБ
ДНУЖТ

повысить эффективность охлаждения обмоток тяговых электродвигателей, повысить надежность и увеличить ресурс изоляции, улучшить технико-экономические показатели ТЭД, а также экономические показатели тепловоза в целом.

Методы исследования. Решение поставленной задачи выполнено в результате исследования закономерностей отказов систем охлаждения и изоляции тяговых электродвигателей с учетом специфики эксплуатации тепловозов в Среднеазиатском регионе; теоретического анализа влияния на термическое состояние якорной обмотки тепловыделения элементов тепловой цепи ТЭД, нелинейности граничных условий охлаждения, соотношения тепловыделения и интенсивности теплоотдачи, экспериментального изучения закономерностей изменения теплоотдачи на охлаждаемой поверхности якоря, термического состояния элементов тепловой цепи ТЭД в стендовых и эксплуатационных условиях.

Научная новизна заключается в том, что впервые поставлены и решены следующие задачи: обоснована необходимость уточнения методики расчета термического состояния теплонапряженных элементов ТЭД (в первую очередь якорной обмотки), проведен анализ экстремальных локальных значений температуры, как величин, определяющих, в конечном итоге, ресурс изоляции обмоток; исследована неравномерность поля коэффициентов теплоотдачи охлаждаемой поверхности и ее влияние на термическое состояние якорной обмотки ТЭД; получены надежные экспериментальные соотношения локальной и полной теплоотдачи якоря в зависимости от гидродинамических условий омывания поверхности его обмотки; теоретически и экспериментально исследованы радиальные температурные поля якорной обмотки ТЭД, получены соотношения, позволяющие определять максимальные локальные значения температур различных точек изоляции обмотки якоря

в зависимости от условий тепловыделения и теплообмена; разработана специальная методика экспериментального исследования термического состояния якоря ТЭД в условиях стендовых и в эксплуатационных испытаниях. Исследованы условия протекания охлаждающего потока воздуха в зоне коллектора ТЭД и разработана методика определения максимальных локальных значений температур обмотки якоря штатного электродвигателя и ТЭД, оборудованного специальным всдухораспределительным устройством.

Практическая ценность и реализация работы. Разработано специальное всдухораспределительное устройство повышающее эффективность охлаждения напряженных в тепловом отношении участков цепи ТЭД без увеличения затрат энергии на перемещение теплоносителя и определены его параметры. Обоснованы рациональные параметры систем охлаждения тяговых электродвигателей тепловозов, эксплуатируемых в условиях Среднеазиатского региона. Разработаны и определены основные параметры устройств бортовой диагностики технического состояния охлаждающей системы ТЭД в эксплуатации.

Разработанная и защищенная а.с. № 1417108 конструкция всдухораспределителя используется Ташкентским тепловозоремонтным заводом и Погрузочно-транспортным управлением (г. Ангрен) при модернизации тяговых двигателей магистральных и промышленных тепловозов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Республиканских конференциях, Научно-технической конференции молодых ученых Узбекистана (Ташкент, 1974-1980 гг), на заседании кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство" ДИИТа (Днепропетровск, 1989); на совместном заседании кафедр "Эксплуатация и ремонт локомотивов", "Локомо-

НТБ
ДНУЖТ

тивы", "Электрические машины и электрооборудование" ТашМИТа (Ташкент, 1989г.), на конференциях в Коломне и Гомеле 1984г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 статьи и получено 2 авторских свидетельства.

Объем работы. Диссертация изложена на 134 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, из 165 наименований, 4 приложений. Работа содержит 87 иллюстраций и 22 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, обоснованы цель и задачи исследования, показаны практическое значение и научная новизна выполненных исследований.

В первой главе выполнен анализ причин выхода из строя ТЭД тепловозов, эксплуатируемых в Среднеазиатском регионе страны; приведен обзор исследований, направленных на улучшение теплового состояния тяговых электродвигателей, совершенствование методов расчета теплообмена в электрических машинах; проведен анализ факторов, оказывающих влияние на возникновение локальных перегревов обмоток якорей ТЭД.

Вопросам повышения надежности изоляции обмоток ТЭД посвящены работы Исоева И.П., Готтер Г., Цейтлина А.Ш., Немухина В.П., Ванштейна М.Э., Карташова В.И., Сухопрудско го Н.Д., Скворцова А.А., Данильинц С.А., Соболева В.М., Солина В.С., Озембловского В.Г., Тартаковского Э.Д., Лугинина Н.Г., Горбатюка В.А., Филиппова Л.К., Меньшикова В.Л., Заикина Г.И., Мальникова В.Л., Иванченко М.П. и др.

Причиной выхода из строя ТЭД в эксплуатации являются

НТБ
ДНУЖТ

тяжелые условия их работы в режимах трогания с места и затяжных подъёмов, а также в переходных процессах, особенно при обратных переключениях с ослабленного поля (ОП) на полное (ПП), боксовании колесных пар, совместных переключениях реле переходов (Р.П.) и реле боксования (Р.Б.). В этих случаях в силовых цепях тепловозов протекают токи большой амплитуды со значительными разбросами их величин по двигателям. На тепловозах 2ТЭ10А, 2ТЭ11Б и др. регулирование расхода охлаждающего воздуха производится в соответствии с вырабатываемой мощностью дизель-генераторной установки по позициям контроллера машиниста. Такая конструкция систем охлаждения ТЭД имеет принципиальный недостаток. Работа дизель-генераторной установки тепловоза в эксплуатации по внешней характеристике приводит к тому, что при постоянной мощности величина тока нагрузки изменяется в широких пределах, а расход воздуха остается постоянным. Это приводит к перегреву изоляции обмоток и снижает надежность ТЭД.

Наиболее разрушительное влияние на изоляцию оказывает превышение ее температуры по отношению к нормативной величине.

Физический смысл теплового износа изоляции заключается в снижении диэлектрической и механической прочности, принятых в качестве показателей старения изоляции.

В основу методики, позволяющей оценить ресурс изоляции якоря ТЭД положена модель, дающая возможность вычисления средних и локальных значений температуры обмотки, учитывающая не только изменение теплового состояния якоря от расхода охлаждающего воздуха и электрической нагрузки, но и неравномерность температурного поля коэффициентов теплоотдачи.

Так как якорь обладает центральной симметрией, достаточно

НТБ
ДНУЖТ

определения температуры обмотки в зоне одного зубцового деления, но якорь не симметричен по длине, вследствие чего тепловыделения его отдельных частей будут различны. Поэтому выделяются три основных участка: X_1 - соответствующий лобовой части со стороны коллектора, X_2 - соответствующий пазовой части обмотки, X_3 - соответствующий лобовой части со стороны, противоположной коллектору.

Исследованию тепловых процессов и разработке методик их расчета в электрических машинах посвящено много работ отечественных и зарубежных авторов. Так, в работе Е. Арнольда впервые нашли широкое применение методы, основанные на использовании дифференциальных уравнений теплопроводности, которые впоследствии получили свое развитие в работах Р. Рихтера, О. Бама, В. Д. Кузьмича, В. Г. Данько, Л. К. Васильева, И. М. Постникова, Г. Г. Счастливого, И. Гака, К. Треттина и др.

В исследованиях тепловых процессов в электрических машинах в большинстве случаев используется аналогия с передачей тепла (нагрев, охлаждение) в однородном твердом теле. При этом коэффициент переноса тепла в любой части тела принимается постоянным, а теплопроводность тела бесконечно большой.

Для решения общей задачи нагрева и охлаждения применяется метод эквивалентных тепловых схем (э.т.с.), при котором тепловая система с непрерывно распределенными параметрами заменяется эквивалентной системой однородных узлов (тел), между которыми устанавливаются связи, определяемые соответствующими условиями теплообмена.

При решении общей задачи нагрева и охлаждения электрической машины по методу ЭТС основные ее элементы заменяются узлами, в которые вводятся соответствующие тепловыделения, осредненные по рассматриваемому объему элемента, зависимость

НТБ
ДНУЖТ

потерь от температуры учитывается также осредненно.

Связь элементов электрической машины с охлаждающим теплоносителем принято выражать конвективными термическими сопротивлениями R_{α}

Таким образом, конвективное, термическое сопротивление R_{α} , является величиной, определяющей осредненную температуру охлаждаемой поверхности и не учитывающий локальных экстремальных температур. Возникновение локальных перегревов при удовлетворительной средней величине температуры поверхности определяется в первую очередь неравномерностью поля коэффициента теплоотдачи, а также является следствием неравномерности распределения внутренних источников тепла. Таким образом, ориентация теплового расчета на среднеинтегральное значение коэффициента теплоотдачи $\bar{\alpha}$ без учета локальных перегревов, при практически точном соблюдении условия теплового баланса не позволяет реально оценить ресурс изоляции, который в конечном итоге, определяется экстремальным (локальным) значением температуры изоляции обмотки.

Учитывая особенности внутреннего теплообмена тел с равномерно-распределенными внутренними источниками тепла в работе делается вывод о наличии не только продольной неравномерности температурных полей, но и их неравномерности в поперечном направлении, т.е. в радиальном направлении сечения обмотки якоря ТЭД. На основе проведенного анализа и изучения состояния вопроса определены следующие задачи теоретического и экспериментального исследования:

- влияние особенностей теплообмена (продольной неравномерности поля коэффициентов теплоотдачи) на температурное поле обмотки якоря ТЭД;

НТБ
ДНУЖТ

- теоретический и экспериментальный анализ неравномерности радиальных температурных полей с целью получения надежных соотношений, позволяющих определить максимальное локальное значение температуры в зависимости от условий тепловыделения и теплообмена;
- экспериментальное исследование локальной и полной теплоотдачи охлаждаемой поверхности якорной обмотки;
- разработка методики определения максимальных локальных значений температур обмотки;
- разработка специальной методики экспериментального исследования термического состояния якоря ТЭД как в стендовых, так и в эксплуатационных условиях;
- исследование аэродинамических систем охлаждения ТЭД, в том числе в условиях эксплуатации характерных для Средней Азии и Казахстана;
- обоснования возможности повышения эффективности охлаждения термонапряженных участков тепловой цепи ТЭД в результате рационального использования энергии воздушного потока без увеличения затрат энергии на перемещение теплоносителя;
- разработка и исследование устройства рационального использования энергии воздушного потока на охлаждение термонапряженных участков тепловой цепи якоря;
- разработка рациональных методов контроля состояния систем охлаждения ТЭД и расходов охлаждающего воздуха.

Во второй главе проведено расчетно-теоретическое исследование влияния нелинейности граничных условий теплообмена третьего рода, вызванной неравномерностью коэффициента теплоотдачи по длине охлаждаемой поверхности обмотки якоря ТЭД на неравномерность его температурного поля и разработана математическая

модель расчета температуры; изложены результаты теоретического анализа радиальных температурных полей якорной обмотки ТЭД.

Известная модель расчета времени, в течении которого изоляция, вследствие старения достигает своего предельного износа не учитывает всего многообразия факторов, воздействующих на изоляцию ТЭД тепловозов в эксплуатации.

Сравнение рассчитанного ресурса изоляции по методике, приведенной Ермолиным Н.П. и др., с экспериментальными данными, характеризующими ресурс изоляции при действии на нее нагрузок, близких по характеристикам к эксплуатационным, полученным Немужным В.П. и др., показало расхождение результатов почти на порядок. Причиной этого является ориентация расчета теплового состояния обмоток на среднеинтегральные значения температуры, в то время как ухудшение физико-механических характеристик изоляции происходит, в значительной степени, как следствие возникновения локальных перегревов.

Таким образом, в основу методики позволяющей оценить ресурс изоляции якоря ТЭД, положена математическая модель дающая возможность вычисления средних и локальных значений температуры обмотки и учитывающая не только изменение теплового состояния якоря от расхода охлаждающего воздуха и электрической нагрузки, но и неравномерность поля коэффициентов теплоотдачи.

Для расчета среднего локального значения температуры была получена формула

$$t''_{\text{я}} = \frac{t''_{\text{б}} + \frac{a}{a + b t''_{\text{я}}} \left[0,5 \frac{\gamma'}{\gamma''} \Delta t'_{\text{я}} + \frac{d'_{\text{я}}}{d''_{\text{я}}} (t'_{\text{я}} - t'_{\text{б}} - 0,5 \Delta t'_{\text{я}}) \right]}{1 - \frac{b}{a + b t'_{\text{я}}} \left[0,5 \frac{\gamma'}{\gamma''} \Delta t'_{\text{я}} + \frac{d'_{\text{я}}}{d''_{\text{я}}} (t'_{\text{я}} - t'_{\text{б}} - 0,5 \Delta t'_{\text{я}}) \right]}, \quad (1)$$

НТБ
ДНУЖТ

полагая

$$m = \frac{\gamma'}{\gamma''}; \quad n = \frac{\alpha'x}{\alpha''x}; \quad \beta = \frac{0,5m\Delta t'x + K\Delta t_x}{a + b't'x},$$

С учетом m и β получено выражение для t''_x

в виде:

$$t''_x = \frac{t''_b + a\beta}{1 - b\beta}; \quad (2)$$

где t''_b - температура охлаждающего воздуха °С;

$a = \Delta Q_c + \Delta P_{Mo}$ - сумма потерь при постоянной температуре;

здесь ΔQ_c - магнитные потери в стали, Вт;

ΔP_{Mo} - потери в меди, Вт;

$b = I^2 \frac{r_0}{234,5}$ - удельные тепловые потери в меди, Вт/град.

Разработанная математическая модель теплового состояния якоря ТЭД тепловоза позволяет в ходе численного эксперимента проанализировать зависимость температурных полей элементов тепловой цепи якоря от величины расхода воздуха, токов нагрузки соответствующих наиболее типичным профилем пути. Модель позволяет устанавливать взаимосвязь этих параметров путем дискретного их изменения с различным шагом варьирования.

Результаты расчетов температурных полей (среднеинтегральным по сечению значений температур) обмотки якоря осевом направлении проиллюстрированы на рис. 1.

Анализируя изменение температурных полей прежде всего необходимо отметить значительное отличие максимальной температуры от среднего для всей поверхности значения. Так, для расчетного значения тока нагрузки равного 720А разница между среднеинтегральным и максимальным значением температуры колеблется в диапазоне от 3С до 55°С в зависимости от расхода охлаждающего

НИИ
ДНУЖТ

воздуха.

Задача анализа радиальных температур в самой обобщенной постановке может быть сведена к задаче теплообмена составного цилиндра с внутренними источниками тепловыделения различной мощности. Схема задачи приведена на рис.2. Изменение температур составной системы цилиндрических тел может быть описано следующей системой уравнений с граничными условиями:

$$\frac{\partial t_0(r, \tau)}{\partial \tau} = a_0 \left[\frac{\partial^2 t_0(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_0(r, \tau)}{\partial r} \right] \quad (3) \quad \tau > 0; 0 \leq r \leq R_0$$

$$\frac{\partial t_1(r, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \left[\frac{\partial^2 t_1(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_1(r, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{q_{01}}{\rho_1 c_{p1}} \quad (4) \quad \tau > 0; R_0 \leq r \leq R_1$$

$$\frac{\partial t_2(r, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \left[\frac{\partial^2 t_2(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_2(r, \tau)}{\partial r} \right] \quad (5) \quad \tau > 0; R_1 \leq r \leq R_2$$

$$\frac{\partial t_3(r, \tau)}{\partial \tau} = a_3 \left[\frac{\partial^2 t_3(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_3(r, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{q_{02}}{\rho_3 c_{p3}} \quad (6) \quad \tau > 0; R_2 \leq r \leq R_3$$

$$\frac{\partial t_4(r, \tau)}{\partial \tau} = a_4 \left[\frac{\partial^2 t_4(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_4(r, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{q_{02}}{\rho_4 c_{p4}} \quad (7) \quad \tau > 0; R_3 \leq r \leq R_4$$

$$\frac{\partial t_5(r, \tau)}{\partial \tau} = a_5 \left[\frac{\partial^2 t_5(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_5(r, \tau)}{\partial r} \right] \quad (8) \quad \tau > 0; R_4 \leq r \leq R_5$$

$$t(r, 0) = t_{\tau=0} = \text{const} \quad (9) \quad t_3(R_3; \tau) = t_{c1} \quad (10) \quad - \frac{\partial t(R_3; \tau)}{\partial r} + H_2 [t(R_3; \tau) - t_{c2}] = 0 \quad (11) \quad t_5(R_5; \tau) = t_{c2}$$

$$- \frac{\partial t(R_2; \tau)}{\partial r} + H_1 [t(R_2; \tau) - t_{c1}] = 0, \quad (12)$$

где a, c_p, ρ - соответственно температуропроводность, теплоемкость и плотность материала;

$H_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_2}$ - отношение коэффициента теплоотдачи на поверхности R_1 к теплопроводности стали;

$H_2 = \frac{\alpha_2}{\lambda_5}$ - отношение коэффициента теплоотдачи на поверхности R_5 к теплопроводности изоляции.

НТБ
ДНУЖТ

Полученные соотношения описывают стационарные радиальные температурные поля якоря ТЭД в зависимости от интенсивности охлаждения, определяемой критерием Bi_1 и Bi_2 соответственно в каналах и на наружной поверхности, и от интенсивности тепловыделения, которая характеризуется удельными объемными мощностями внутренних источников тепла в стали q_{u1} и меди q_{u2} .

Расчетно-теоретический анализ показывает, что наибольшего значения разность температур достигает в зоне возникновения локальных перегревов якорной обмотки ТЭД.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования теплового состояния и условий охлаждения тяговых электродвигателей, в связи с чем разработана и теоретически обоснована методика стендовых и эксплуатационных экспериментальных исследований термического состояния элементов тепловой цепи ТЭД, методика обработки экспериментальных данных. Произведены оценка точности экспериментального исследования теплоотдачи охлаждаемой поверхности изоляции ТЭД, результаты экспериментального исследования теплового состояния и теплоотдачи обмотки якоря штатного двигателя и ТЭД с воздухораспределительным устройством.

Экспериментальные исследования по заданной программе проводились на заводе Октябрьской Революции ТашГРЗ на 6 якорях ТЭД, оборудованных температурными датчиками. Датчики были уложены в различные точки якоря и магнитной системы ТЭД (28 термоматчиков). В качестве датчиков использованы термпары группы хромель-копаль (х.к.).

Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов. Первый этап включал стендовые циклические испытания якоря (нагрев, остывание при $I = 400+720$ А). Второй этап состоял из испытаний опытного якоря под нагрузкой с измерением температуры нагрева элементов ТЭД в различных точках. Третий этап вклю-

НИИ
ДНУЖТ

чал определение теплового состояния изоляции обмоток опытных якорей в эксплуатационных условиях.

Целью эксплуатационных испытаний явилось определение количественных зависимостей, характеризующих нагрев изоляции обмоток якоря ТЭД тепловоза при вождении грузовых поездов критического веса на руководящем подъеме, на участке протяженностью 62 км с горным профилем, характеризующим затяжной подъем в 11%.

Следует отметить, что выбранный экспериментальный участок Среднеазиатской железной дороги характеризуется достаточно большим количеством отказов ТЭД по причинам: межвитковое замыкание, замыкание на корпус, оплавление петушков коллектора, размотка бандажей.

В соответствии с разработанной методикой, в процессе стендовых экспериментов определялись температурные режимы различных частей ТЭД в диапазоне изменения тока нагрузки от 176,720 А и расхода охлаждающего воздуха в системе охлаждения от 0,54 до 1,25 м³/с.

Результаты испытаний ТЭД тепловоза в условиях стенда и эксплуатации свидетельствуют, что величины средневзвешенного нагрева активной части обмотки якоря лежат в пределах 140-196°С (см.рис.3).

Из рис.3 также видно, что при расходе охлаждающего воздуха $Q = 0,96$ м³/с и температуре окружающей среды $t_0 = 34$ °С максимальная температура изоляции обмотки ТЭД в лобовой части со стороны шестерни составляет 196°С, а со стороны коллектора 168°С, что превышает допустимые по ГОСТ для изоляции кл. В, F

Анализ экспериментальных данных аэродинамического сопротивления воздушного тракта охлаждения исследованных двигателей показывают, что при прочих равных условиях значительная часть падения величины динамического напора приходится на коллектор-

НГБ
ДНУЖТ

ную камеру.

Потеря динамического напора приводит соответственно к потере эффективности охлаждения элементов тепловой цепи ТЭД, в том числе, и самых теплонапряженных участков обмотки, которые, расположены в хвостовой части якоря ТЭД.

С целью повышения эффективности использования располагаемого напора на входе в тяговый двигатель, а следовательно, ускорения потока воздуха относительно охлаждаемых элементов спроектированы, изготовлены и исследованы два типа воздухоораспределительных устройств (направляющих аппаратов), установка которых во входном отверстии в коллекторную камеру позволяет существенно, в 1,18 - 1,28 раза интенсифицировать теплоотдачу охлаждаемых элементов ТЭД.

Разделение воздуха на направленные потоки достигается тем, что криволинейные лопатки направляющего аппарата (поз.17,18,19 рис.4) сопрягаются в плоскости входного отверстия по V образной линии, причем одна из них спрофилирована по дельни skate в продольном направлении воздушного потока, а две в направлении касательных к коллектору, этим самым интенсифицирует охлаждение обмотки якоря и полюсов, усиливает циркуляцию воздуха вокруг коллектора и как следствие этого улучшает условия охлаждения ТЭД.

Исследование теплоотдачи теплонапряженного элемента ТЭД, якоря проводилось методом локального и полного теплового моделирования. Получены экспериментальные температурные поля якоря ТЭД в наиболее характерных, с точки зрения термического состояния режимах, а также среднеинтегральных по радиальному сечению обмотки температуры ($\bar{t}_V(x)$).

Из результатов анализа продольных температурных полей становится очевидным значительное отличие местных температур по сравнению со среднеинтегральными температурами всей обмотки.

НТБ
ДНУЖТ

Так например, для режима опыта при $I = 550 \text{ A}$, $Q = 0,350 \text{ м}^3/\text{с}$, $t'_B = 33^\circ\text{C}$, осредненная по сечению обмотки температура по длине якоря изменяется от 72 до 131°C в двигателе без направляющего аппарата и от $(72-76)^\circ\text{C}$ до 124 в ТЭД оборудованном устройством распределения воздушного потока рис.5.

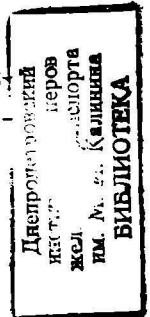
При этом максимальное локальное значение температуры в сечении обмотки, соответствующем $\bar{t}_V(x)$, равной I_3I , достигается величины 152°C .

При наличии воздухораспределительного устройства максимальное значение температуры в этой точке, в таком же режиме, не превышает 145°C .

В результате исследований наблюдается значительная неравномерность температур, как по длине якоря, так и в радиальном его сечении во всех режимах. В то же время неравномерность радиальных температурных полей (с уменьшением I и Q) уменьшается. Это можно объяснить следующим образом. Обмотка представляет собой объем с равномерно-распределенными источниками тепла, центр объема характеризуется точкой с максимальной температурой, изменение же теплового состояния от центра к периферии (по радиусу) происходит в зависимости от условий охлаждения, равно как и от величины мощности внутреннего источника.

Результаты экспериментального исследования радиальных температурных полей обмотки якоря показали практически полное совпадение с результатами расчетно-теоретического анализа. С изменением интенсивности теплоотдачи, характеризуемой величиной αx , изменяются абсолютные значения температур в радиальных температурных полях, при этом зависимости относительных температур от величины тока нагрузки I остаются постоянными.

Использование устройства распределения воздушного потока приводит к уменьшению температуры наиболее "горячего" сечения



5336a

НТБ
ДНУЖТ

на $6 \div 16^{\circ}\text{C}$.

В четвертой главе приводятся результаты практического применения и их технико-экономический анализ с основными положениями методики расчета максимальных локальных значений температур и оценки по ним ресурса изоляции обмотки якоря и рациональные способы контроля количества охлаждающего воздуха в системе охлаждения ТЭД.

Проведенные расчетно-теоретические и экспериментальные исследования позволили получить следующие результаты:

- обосновано преждевременное старение изоляции обмотки якоря ТЭД;
- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена значительная неравномерность продольных и радиальных температурных полей зависимости граничных температур, характеризующих температурные поля от нагрузки и условий охлаждения, определяемых, в конечном итоге, поверхностной температурной обмотки;
- получены зависимости, позволяющие рассчитывать как средние так и локальные значения коэффициентов теплоотдачи, определяющие при заданной токовой нагрузке средний и локальный температурный уровень охлаждаемой поверхности обмотки;
- разработан и экспериментально апробирован метод снижения температурного уровня обмотки, путем интенсификации теплоотдачи в результате рационального использования кинетической энергии (динамического напора), нагнетаемого воздушного потока.

Полученные результаты экспериментального и теоретического исследования позволили разработать достаточно простую методику расчета теплового состояния обмотки якоря ТЭД и как следствие

НТБ
ДНУЖТ

этого методику определения зависимости ресурса изоляции обмотки от локального термического состояния обмотки.

Результаты экспериментального анализа термического состояния элементов тепловой цепи ТЭД в широком диапазоне изменения нагрузки и расхода охлаждающего воздуха подтверждены результатами эксплуатационных исследований, позволили определить конкретные мероприятия, направленные на улучшение теплового состояния наиболее термонапряженных элементов ТЭД.

Результаты сравнительного экспериментального анализа теплового состояния штатного ТЭД и двигателей, оборудованных воздухораспределительными устройствами, позволили разработать методику выбора рациональных параметров этого устройства.

Введение в методику расчета температурного состояния якорной обмотки ТЭД упрощающих предпосылок, а именно: линеаризация изменения температуры воздуха и плотности теплового потока на поверхности не вносит существенной ошибки, максимальное расхождение значений поверхностных и радиальных температур обмотки, полученных в результате расчетно-экспериментального анализа и значений, определенных по предложенной упрощенной методике не превышает $2,5 \pm 3\%$.

Установлено, что величины расходов охлаждающего воздуха через большинство ТЭД тепловозов, эксплуатирующихся в Средней Азии и Казахстане значительно меньше предельно допустимых. Вероятность отказа охлаждающих систем ТЭД тепловозов в названных регионах составляет соответственно 0,66; 0,8.

В методике определения максимальных локальных значений температур и оценки по ним ресурса изоляции обмотки якоря рис. 6 учитывались наиболее часто встречающиеся в поездной работе расход воздуха и различные токи нагрузки, обусловленные наиболее типичными профилем пути и весом поездов.

НТБ
ДНУЖТ

Изменение температуры по длине якоря

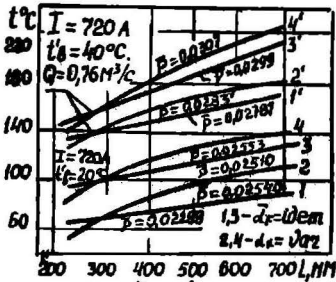


Рис. 1

Схема радиальной сопряженной задачи теплообмена

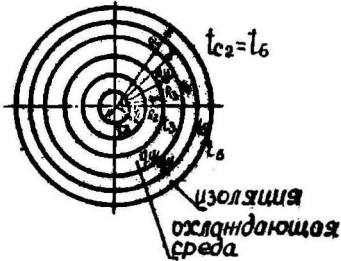


Рис. 2

Изменение температуры изоляции якоря

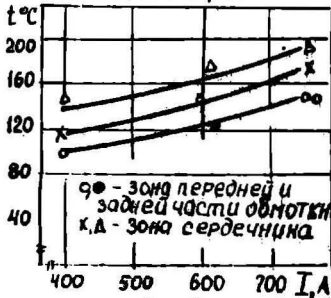
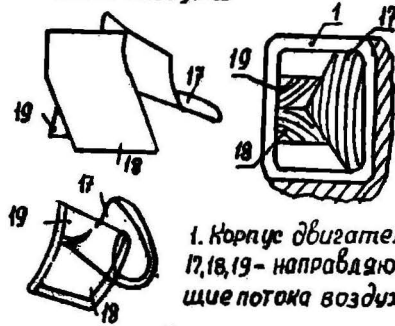


Рис. 3

Устройство распределяющее поток воздуха



1. Корпус двигателя
17, 18, 19 - направляющие потока воздуха

Рис. 4.

Сравнение экспериментальных и теоретических продольных температурных полей якоря

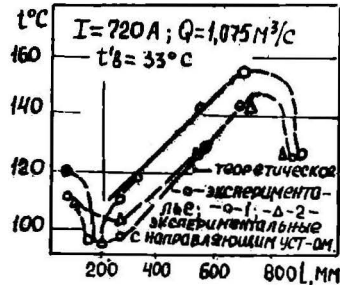


Рис. 5

Изменение ресурса изоляции в зависимости от расхода охлаждающего воздуха и токов нагрузки

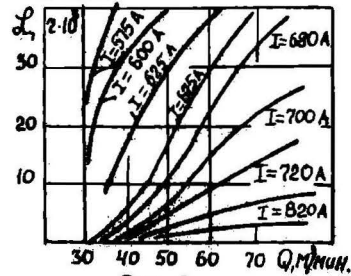


Рис. 6.

Численное решение системы производилось с применением ЭВМ. Получены средние и максимальные локальные температуры обмотки якоря ТЭД.

Ресурс ТЭД определялся из следующих соображений.

Располагая определенным расходом воздуха Q_i группа ТЭД в количестве N_{vi} на тяговом плече будет эксплуатироваться при вполне определенной температуре t_i , зависящей от тока нагрузки. Эта температура определяется из численного решения дифференциальных уравнений теплопроводности тепловой модели нагрева изоляции якоря. По полученной температуре по графику $\mathcal{L} = f(t)$ рис. 6 легко определить ресурс \mathcal{L} работы ТЭД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получены следующие основные результаты:

1. Уточнена методика расчета термического состояния теплонапряженных элементов ТЭД, в первую очередь якорной обмотки, с целью определения локальных максимальных значений температуры - величин, определяющих ресурс изоляции обмоток.

2. Определено, что основной причиной возникновения локальных перегревов обмоток является явно выраженная неравномерность продольных и радиальных температурных полей.

3. Исследовано термическое состояние элементов тепловой цепи ТЭД. Показано, что неравномерность продольного температурного поля якорной обмотки усугубляется нелинейностью продольного изменения коэффициента теплоотдачи. Установлено, что температуры обмотки в произвольной точке, определенные при линейных и нелинейных граничных условиях могут отличаться на τ величину $10+12^\circ\text{C}$. Наибольшим различием указанных температур характеризуется зона максимальных локальных перегревов якорной об-

НТБ
ДНУЖТ

мотки, соответствующая радиальному сечению якоря при $L = 750$ мм.

Результаты экспериментального исследования полной и локальной теплоотдачи охлаждаемой поверхности якорной обмотки аппроксимированы в виде инвариантных соотношений в широком диапазоне изменения режима течения теплоносителя и нагрузки.

4. В результате теоретического и экспериментального исследования определены радиальные температурные поля якорной обмотки, анализ которых позволил получить расчетные соотношения, устанавливающие связь относительных температур, характеризующих поля от величины тока нагрузки. Полученные зависимости положены в основу методики расчета экстремальных локальных значений температур обмотки. Показано, что максимальное локальное значение температуры обмотки якоря может превышать среднентегральное (по объему) значение температуры обмотки более чем в два раза.

5. Установлено, что перегрев обмоток является следствием несовершенства систем охлаждения ТЭД, в частности нерационального использования в гидравлической схеме двигателя кинетической энергии воздушного потока.

С целью повышения эффективности охлаждения термонапряженных элементов разработано и исследовано специальное воздухораспределительное устройство (направляющий аппарат), устанавливаемое во входной горловине двигателя. Результаты сравнительного экспериментального исследования штатных модернизированных (с направляющими аппаратами) ТЭД установлено, что использование направляющих аппаратов позволяет интенсифицировать теплоотдачу на 15%, что приводит к снижению температурного уровня обмотки на 6–15°C в зависимости от нагрузки.

6. По результатам расчетно-теоретических и экспериментальных исследований разработана методика расчета экстремальных

НГБ
ДНУЖТ

локальных температур якорной обмотки штатных и модернизированных тяговых двигателей, использование которой позволяет уточнить методику расчета ресурса изоляции ТЭД.

7. Определены рациональные параметры воздухораспределительного устройства, обоснованы рациональные параметры систем охлаждения тяговых электродвигателей тепловозов, эксплуатируемых в условиях Среднеазиатского региона, разработаны основные требования системы бортовой диагностики технического состояния охлаждающей системы ТЭД в эксплуатации.

8. Использование в тяговых электродвигателях направляющих аппаратов позволяет рационально использовать заданную мощность ТЭД в условиях жаркого климата, повысить надежность и эффективность систем охлаждения, увеличить ресурс изоляции обмотки якоря не менее, чем на 3 - 3,5 %.

Использование предложенной бортовой диагностики технического состояния охлаждающей системы ТЭД в эксплуатации позволит ускорить обнаружение и устранение неисправностей.

Технико-экономическими расчетами установлено, что экономический эффект от внедрения результатов работы составит не менее, чем 7583 руб. на один млн. км пробега.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Аширов С., Идиятуллин Р.Г. Влияние эксплуатационных режимов на надежность изоляции тяговых электродвигателей. Труды ВНИИ, вып. 57, Коломна, 1983, с.116.
2. Гордеев И.П., Аширов С., Тарасов Н.Г. К вопросу надежности охлаждающих устройств тяговых двигателей в эксплуатации. Меж.вузовский сб. науч.тр. Ташкент, 1983, вып.164/31, с.12-17.

НТБ
ДНУЖТ

3. Аширов С., Идиятуллин Р.Г., Исследование полей рассеивания температуры тяговых электрических машин в условиях эксплуатации. Меж.вузовский сб. науч.тр. Гомель, 1984, с.27-31.
4. Аширов С., Гордеев И.П. Исследование теплового состояния изоляции якорных обмоток тяговых электродвигателей в режимах эксплуатации при отклонениях параметров их системы охлаждения от нормальных. - М., 1986. - 117с. - Деп. в ВИНТИ 5.06.88, № 3221.
5. А.С. I292116 СССР. Тяговый электродвигатель /Глуценко А.Д., Киселев В.И., Федотов А.П., Аширов С. - №3947082; Заявлено 13.08.85; Опубл. 23.02.87. Бюл. №7 Зс.: ил.
6. А.С. I417108 СССР. Тяговый электродвигатель / Глуценко А.Д., Аширов С., Федотов А.П., Домбровский В.В. - №4127087; Заявлено 26.06.86; Опубл. 15.08.88 Бюл. №30 4с.: ил.
7. Аширов С., Гордеев И.П., Муракаев Ф.А., Сарвилов А.С.. К вопросу контроля расхода охлаждающего воздуха тяговых электрических машин тепловозов. - М., 156 с. - Деп. в ВИНТИ 5.07.88 № 4772.

Аширов

А Ш И Р О В С Е Р В Е Р

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ
ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕАЗИАТСКОЙ
ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Р - 04869

Подписано к печати 1.08.89 г

Формат 60x90 1/16

Объем 1,0 печ.л.

Заказ 1186.

Тираж 100 экз.

Типография ИАН, 700170, Самаркент 170, проспект М.Горького, 79