

МПС СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

МИДКОВ Владимир Николаевич

УДК 629.424.1 - 83.019.3

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ТЕПЛОВОЗОВ
С ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧЕЙ

Специальность: 05.22.07 - Подвижной состав железных
дорог и тяга поездов

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск 1987 г.

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнялась на кафедре "Локомотивы и локомотивное хозяйство" Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени института инженеров железнодорожного транспорта и кафедре "Подвижной состав и тяга поездов" Ташкентского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров железнодорожного транспорта.

Экспериментальные исследования проводились на эксплуатируемых тепловозах Среднеазиатской и Юго-Восточной железных дорог, Ташкентском тепловозо-ремонтном заводе им. Октябрьской Революции и опытным кольце ВНИИЖТа.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент РУДАЯ Ксения Ивановна

Официальные оппоненты:
доктор технических наук
НОВИКОВ Михаил Николаевич;
кандидат технических наук
КРАСИЛЬНИКОВ Владимир Никитович.

Ведущее предприятие - Главное Управление локомотивного хозяйства МПС.

Автореферат разослан "10" 12 1987г.

Защита диссертации состоится "5" 02 1987г.

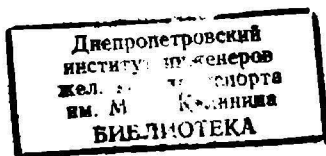
" час. на заседании специализированного совета
Днепропетровского ордена Трудового Красного Знамени института
инженеров железнодорожного транспорта (320700, Днепропетровск,
Ю, ул. Академика Лаваряна, 2, ДИИТ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Отказы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, проким направлять в совет института.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук,
доцент

ПЕТРОВИЧ Л.В.



НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000г.", принятых XXVII съездом КПСС перед железнодорожным транспортом поставлены задачи не только по бесперебойному обеспечению перевозок народнохозяйственных грузов, но и освоению эксплуатации новых видов локомотивов, в частности тепловозов секционной мощностью 4000 и 6000 л.с. в секции.

Решение этих задач зависит от состояния узлов тепловозов, в том числе силовых цепей электрических передач (ЭП), и требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Основными элементами силовой цепи тепловозов с ЭП постоянного тока (ПТ) являются: тяговые электрические машины, реверсор, поездные контакторы и контакторы ослабления возбуждения (ВШ) тяговых электродвигателей (ТЭД). У тепловозов с электрической передачей переменного-постоянного тока (ППТ) типа 2ТЭ116 добавляются еще асинхронные электродвигатели вспомогательных нужд и выпрямительная установка.

Эксплуатационные данные о работе тепловозов по сети железных дорог свидетельствуют, что процент отказов электрооборудования все еще высок, особенно большим он был на тепловозах 2ТЭ116 первых выпусков. По данным ЦТ МПС в 1979г. по электрооборудованию тепловозов 2ТЭ101 количество порч на 1 млн.км. пробега составило 0,87 случая, из них 0,11 - по тяговому генератору и 0,36 - по тяговому электродвигателю. Несмотря на то, что основными причинами порч названы неудовлетворительный уход, перепробеги, запущенность тепловозного парка, кратковременные тормозные режимы (КТР) ТЭД, обусловленные переходными процессами, не проходит бесследно для тяговых электрических машин и контактов контакторов ВШ. Наблюдаются перегрузки асинхронных электродвигателей вспомогательных нужд и диодов выпрямительных установок. Менее всего подтверждены их воздействию поездные контакторы (ПК) и реверсор.

Выходы из строя элементов силовой цепи ЭП влекут за собой большие затраты на их восстановление. Особенно эти затраты велики при выходе из строя ТЭД. Восстановление контактов контакторов ВШ хотя и менее трудоемко и требует меньших затрат, но

оно связано с расходом остродефицитных материалов: серебра и кадмия. Поэтому повышение надежности силовой цепи ЭП за счет устранения КТР ТЭД и их последствий является актуальной задачей.

Цель работы - проведение аналитических и экспериментальных исследований КТР ТЭД, их анализ и разработка, на основе полученных результатов, технических решений, направленных на повышение надежности силовых цепей тепловозов с ЭП ПТ и ППТ.

Результаты, полученные лично соискателем:

- экспериментально исследованы переходные режимы в силовой цепи тепловозов с ЭП ПТ при отключении возбуждения тягового генератора и с ЭП ППТ типа 2ТЭ116 при включении ТЭД на напряжение тягового генератора тепловоза;
- экспериментально обнаружены неизвестные ранее КТР ТЭД и их влияние на надежность силовой цепи;
- разработаны математические модели исследуемых переходных режимов в силовых цепях тепловозов;
- в результате аналитического исследования разработанных математических моделей получены условия возникновения КТР ТЭД;
- в результате анализа результатов аналитических и экспериментальных исследований разработаны и испытаны технические решения, направленные на повышение надежности силовой цепи тепловозов с электрической передачей.

Методы исследования. Аналитические исследования проведены методом операционного исчисления с помощью теории электрических цепей.

Экспериментальные исследования проведены путем осциллографирования параметров переходных процессов в силовых цепях и цепях управления тепловозов 2ТЭ10Л, 2ТЭ116, ТЭЗ, ТЭМ2 осциллографами Н - ОИСМ, Н - ИОБ, Н - ИИ5 и К - ИИ7 со скоростями протяжки ленты от 1 до 1000 мм/с. Для усиления сигналов от тензодатчиков, фиксирующих движение подвижных контактов контакторов ВШ, использовался тензоусилитель ТУП-12М, изготовленный на опытном заводе ЦНИИ МПС.

Износ контактов контакторов ВШ определялся по потере ими веса путем взвешивания на аналитических весах первого класса с точностью до 0,01 мг. Во всех интервалах наработки перед взвешиванием контакты тщательно промывались от копоти в бензине и про-

сушивались на открытом воздухе. После взвешивания сохранялось прежнее, выбранное в начале опыта, месторасположение контактов и всех элементов контактной системы.

Научная новизна работы состоит в: - аналитическом и экспериментальном исследовании неизвестных ранее КТР ТЭД тепловозов с ЭП ПТ и ЭП ППТ; - экспериментальном изучении условий работы контактов контактора ВШ; - разработке технических решений по устранению КТР ТЭД; - улучшению условий работы и усилению контактной системы контактора ВШ.

Практическая ценность предложенных технических решений состоит в том, что они позволяют простыми способами устранить КТР ТЭД и уменьшить износ контактов контактора ВШ в эксплуатации и при ремонте.

Реализация работы. Предложенные технические решения по устранению КТР ТЭД реализованы на тепловозах 2ТЭ10Д, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М и 2ТЭ11Б. Результаты исследований условий работы контакторов ВШ типа ПКГ-560 использованы при разработке более надежных контакторов ПКГ-565 и ПКГ-566 у которых увеличены контактные напайки и уменьшена неодновременность коммутации контактов контактных мостиков и контактных групп. Все это повышает надежность силовой цепи тепловозов.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на: - научно-технических конференциях ТашИИТа (1970-1976гг.); - на заседаниях кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство" МИИТа (1976г.); - на научно-техническом семинаре кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство МИИТа" (1983г.); - на республиканских научно-технических конференциях молодых ученых (Ташкент, 1974г.) и "Прогрессивные технологические процессы в машиностроении" (Ташкент, 1973г.); - на заседании кафедры "Подвижной состав" ТашИИТа (1983г.); - на заседании кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство" ДИИТа (Днепропетровск, 1987г.).

Публикация. По материалам исследований опубликовано 10 статей, 1 информационный листок, реализовано 1 рацпредложение, получено 2 авторских свидетельства.

Объем работы. Диссертация состоит из 5 глав, заключения, выводов, списка литературы из 74 наименований, ее содержание изложено на 175 стр. машинописного текста, из которых 48 стр. занимают рисунки и 6 стр. таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу известных на подвижном составе, а также неизвестных ранее КТР ТЭД, возникающих на тепловозах 2ТЭ10Л и 2ТЭ11Б и поставлены задачи исследования.

Вопросам тормозных режимов уделялось внимание давно и посвящены работы авторов, занимающихся проектированием и исследованием работы тяговых электрических машин (А.В.Алексеев, А.Б.Иоффе, М.Д.Находкин, А.С.Курбасов, В.С.Хвостов, Б.В.Гнездилов, Л.К.Филиппов, В.А.Горбачук, А.А.Будницкий, Ю.М.Перегудов и многие другие). Из зарубежных ученых можно отметить Адлера, Хильберта, Рахеля, Шаммелл.

Установлено, что исследование в работе КТР ТЭД, возникающие в режиме работы их на ослабленном возбуждении (ОП) при отключении возбуждения тягового генератора (тепловоз 2ТЭ10Л) и при включении на напряжение тягового генератора (тепловоз 2ТЭ11Б) имеют существенные различия с ранее изученными. Различия заключаются в том, что на тепловозе 2ТЭ10Л при отключении возбуждения тягового генератора силовая цепь остается замкнутой $I + I_{25с}$ из-за выдержки времени отключения ПК, а режиму включения ТЭД, работающих на ОП тепловоза 2ТЭ11Б, соответствует исследованный режим включения электровозного ТЭД НБ-412М при отсутствии индуктивности в шунте, чего реально не существует.

В 1970 году ТашиИТом проводились работы по исследованию причин оплавления контактов контакторов ВШ типа ПКГ-560 тепловозов 2ТЭ10Л. В ходе работ было обнаружено протекание обратных токов в силовой цепи после отключения возбуждения тягового генератора при работе ТЭД в режиме ОП. Обратный ток протекал по цепи: тяговый генератор - ТЭД - резисторы, шунтирующие обмотку возбуждения (ОВ) ТЭД. Направление тока в ОВ оставалось неизменным. Зафиксировано также во ВНИИ появление обратного тока при отключении возбуждения тягового генератора когда включается контактор ВШ. Но такой режим крайне редкий, анализ его признан нецелесообразным и в работе не рассматривается.

В 1972г. кратковременное протекание обратных токов было зафиксировано и в силовой цепи тепловоза 2ТЭ11Б:

- между ТЭД в цепи якорь - резисторы, шунтирующие ОВ при отключении возбуждения тягового генератора;

- в цепи якорь - резисторы, шунтирующие ОВ, при ударном включении ТЭД, работающих в режиме ОП, после возникновения, хотя бы на одном из них, кругового огня (КО);
- в ОВ ТЭД при включении их в режиме ОП на напряжение тягового генератора без возникновения КО.

Первый случай не представляет интереса, так как обратный ток якоря имеет величину порядка до $I_a = -30\text{А}$ с наибольшей скоростью изменения тока якоря, порядка до $di_a/dt \pm 300\text{А}\cdot\text{с}^{-1}$ при нарастании и до $di_a/dt = 60\cdot\text{А}\cdot\text{с}^{-1}$ при убывании. Физическая сущность этого процесса объяснена в работах ВНИИТ и поэтому в данной работе он не изучался.

Второй случай не освещается в данной работе, так как полное устранение КО - задача требующая разработки специальной защиты.

Поэтому в данной работе рассматривается третий случай, когда в ОВ ТЭД возникал импульс обратного тока порядка $200+300\text{А}$. Рассматривается также случай ударного включения ТЭД на напряжение тягового генератора при работе их в режиме ШП.

Работа ТЭД тепловозов 2ТЭ10Л, 2ТЭ11Б, 2ТЭ10В при отсутствии переключения полярности его элементов (якоря, ОВ) в режиме обратного тока соответствует режиму динамического торможения. При динамическом торможении ТЭД работает генератором, преобразуя кинетическую энергию, запасенную ее якорем и вращающимися элементами, в электрическую, расходуя последнюю в цепи якоря и тормозного сопротивления. Тормозным сопротивлением при тормозном режиме работы ТЭД тепловоза 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В после отключения возбуждения тягового генератора служит его якорь с дополнительными полюсами (ДП), а на тепловозе 2ТЭ11Б - ТЭД, подвергшиеся КО.

Физическая сущность возникновения КТР состоит в том, что:

- для тепловозов с ШП ПТ скорость затухания напряжения тягового генератора больше затухания противоэ.с ТЭД в режиме ОП;
- для тепловозов с ШП ШПТ в появлении э.с коммутационной реакции якоря ТЭД, которая в режиме работы его на ОП превосходит э.с реакции якоря тягового генератора.

Достоверно установить количество случаев КТР сложно, но учитывая данные различных авторов, а также техническую документацию на тепловозах и в депо, их можно ориентировочно оценить как 700 случаев на 1 млн.км.пробега для тепловоза 2ТЭ10Л. Для тепловозов

2ТЭ116 возможность КТР крайне мала, но вследствие тяжелых последствий также должна быть устранена.

Непосредственным следствием КТР ТЭД тепловозов 2ТЭ10Д и 2ТЭ116 являются:

- подгар и оплавление контактов контакторов ВШ, так как они коммутируют токи, значительно превышающие номинальные при напряжении в 2-3 раза больше допустимого;
- вспышки на коллекторах ТЭД;
- круговые огни на коллекторах ТЭД (тепловоз 2ТЭ116);
- перенапряжения на уровне I+I, 5кВ в силовой цепи при коммутации поездных контакторов П1+П6 (тепловоз 2ТЭ10Д);
- переход асинхронных двигателей вспомогательных нужд в генераторный режим с биениями (тепловоз 2ТЭ116);
- ударные токи в изоляции;
- появление двигательного момента тягового генератора, что может вызвать кратковременное повышение частоты вращения вала дизеля, срабатывание предельного регулятора и последующую остановку дизеля (тепловоз 2ТЭ10Д);
- перегрузка асинхронных электродвигателей вспомогательных нужд и диодов выпрямительных установок (тепловоз 2ТЭ116).

Перечисленные явления не могут не снижать надежность силовой цепи ЭП тепловозов. Поэтому целесообразно провести исследования КТР в следующих направлениях:

- аналитических исследований;
- экспериментальных исследований;
- анализа результатов аналитических и экспериментальных исследований;
- технико-экономического обоснования предложенных технических решений.

Во второй главе изложены результаты аналитических исследований.

При исследованиях приняты следующие допущения:

- реальные ТЭД заменяются условным. Это исключает влияние других на переходный процесс;
- поездные контакторы ПК включены в течение всего переходного процесса;
- ТЭД имеют одинаковые электро механические характеристики и параметры обмоток;

- кривые намагничивания тягового генератора и ТЭД аппроксимируются двумя отрезками прямых;
- степень ослабления возбуждения всех ТЭД одинакова и определяется одним резистором R_{ω} ;
- допереходный режим работы тепловоза при $t = 0^+$ стационарный;
- коэффициент рассеивания магнитного потока остается постоянным;
- коммутация контактора возбуждения тягового генератора осуществляется мгновенно и не оказывает влияния на начальные значения токов силовой цепи;
- тяговый генератор работает на аварийном возбуждении. Это исключает влияние обратных связей на переходный процесс.

Для режима включения ТЭД на ОП тепловозов 2ТЭП6 примем следующие допущения:

- коэффициенты реакции якоря ТЭД и тягового генератора на рассматриваемых промежутках переходного процесса постоянны;
- тяговый синхронный генератор заменится генератором постоянного тока с введением в схему замещения диода.

На основании принятых допущений составлены математические модели силовых цепей во время исследуемых переходных процессов.

Для тепловозов с ЭП ПТ рассмотрены следующие варианты:

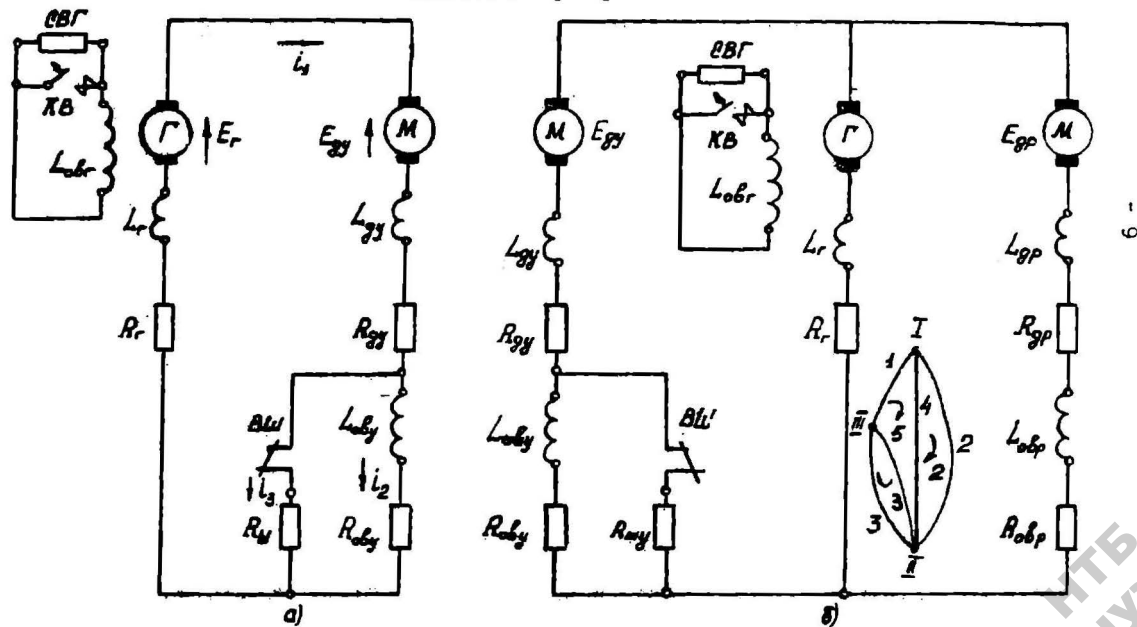
- контакторы ВШ включены в течение всего переходного процесса;
- одновременное отключение контактных групп контактора ВШ;
- неодновременное отключение контактных групп контактора ВШ.

На рис. 1 приведены схемы замещения силовой цепи тепловозов с ЭП ПТ.

Переходный процесс отключения возбуждения тягового генератора при работе ТЭД в режиме ОП и включенных контакторах ВШ в течение всего переходного процесса описется системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} L_g \frac{di_1}{dt} + R_g i_1 + L_r \frac{di_1}{dt} + R_r i_1 + R_{\omega} i_3 &= U_r(t) - E_g(t); \\ L_{\omega} \frac{di_2}{dt} + R_{\omega} i_2 - R_{\omega} i_3 &= 0; \\ i_1 - i_2 - i_3 &= 0. \end{aligned} \right\} (1)$$

Схемы замещения силовой цепи тепловозов с ЭП ПТ при отключении возбуждения
тягового генератора



- а) одновременная коммутация контактных групп ЭП;
б) неодновременная коммутация контактных групп ЭП;

Рис. I

Выражения токов якоря и ОВ ТЭД имеют вид:

$$\begin{aligned} i_1(t) &= i_1(0)(K_1 e^{-\alpha_1 t} + K_2 e^{-\alpha_2 t} + K_3 e^{-\alpha_3 t} + K_4 e^{-\alpha_4 t}), \\ i_2(t) &= i_2(0)(K_1' e^{-\alpha_1 t} + K_2' e^{-\alpha_2 t} + K_3' e^{-\alpha_3 t} + K_4' e^{-\alpha_4 t}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $K_1 \div K_4$ и $K_1' \div K_4'$ - постоянные;
 α_r, α_g - коэффициенты затухания напряжения генератора
 и противовеса ТЭД;
 α_1, α_2 - корни характеристического уравнения;
 t - время;
 $i_1(0), i_2(0)$ - начальные значения токов якоря и ОВ ТЭД.

При одновременном отключении контактных групп контактора ВШ в исследуемом процессе последовательно с резистором включается нелинейное сопротивление дуги. Выражение тока будет иметь вид (при линеаризованной характеристике дуги):

$$\begin{aligned} i_1(t) &= i_1(0)(K_1 e^{-\alpha_1 t} + K_2 e^{-\alpha_2 t} + K_3 e^{-\alpha_3 t} + K_4 e^{-\alpha_4 t}) + \\ &+ i_1'(0)(K_1'' e^{-\alpha_1'' t} + K_2'' e^{-\alpha_2'' t} + K_3'' e^{-\alpha_3'' t} + K_4'' e^{-\alpha_4'' t}), \end{aligned} \quad (3)$$

где $K_1 \div K_4$ и $\alpha_1 \div \alpha_4$ - постоянные и коэффициенты имеющие те же значения, что и в уравнении (2);
 $K_1'' \div K_4''$ и $\alpha_1'' \div \alpha_4''$ - коэффициенты, отличающиеся от предыдущих тем, что при их работе величина резистора $R_{ш}$ алгебраически увеличена на величину линеаризованного сопротивления дуги;
 $i_1'(0)$ - начальное значение тока перед коммутацией контактора ВШ.

Выражение тока якоря в переходном процессе при работе ТЭД в режиме III имеет вид:

$$i_1(t) = i_1(0)(K_1 e^{-\lambda_1 t} + K_2 e^{-\lambda_2 t} + K_3 e^{-\lambda_3 t}). \quad (4)$$

При принятом допущении, что реальный ТЭД после коммутации его контактной группы VIII полностью размагничен, а другие ТЭД работают в режиме ОП (из-за неодновременной коммутации контактных групп VIII), переходный процесс описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Z_{11} I_1(p) + Z_{12} I_2(p) + Z_{13} I_3(p) &= E_{1y}(p) - i_1(0)(L_{1y} + L_r) + i_2(0)L_r; \\ Z_{21} I_1(p) + Z_{22} I_2(p) + Z_{23} I_3(p) &= -E_{2y}(p) + i_2(0)(L_{2y} + L_{2p}); \\ Z_{31} I_1(p) + Z_{32} I_2(p) + Z_{33} I_3(p) &= i_3(0)L_{0y}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Уравнение тока якоря ТЭД, чья контактная группа контактора VII отключилась раньше имеет вид:

$$i_2(t) = \frac{B_5}{\lambda_{yy} \lambda_{yp} \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} + K_2 e^{-\lambda_{yy} t} + K_3 e^{-\lambda_{yp} t} + K_4 e^{-\lambda_1 t} + K_5 e^{-\lambda_2 t} + K_6 e^{-\lambda_3 t}$$

где λ_{yy} - коэффициент затухания противоэДС ТЭД, находящегося в режиме ОП;
 λ_{yp} - коэффициент затухания противоэДС ТЭД, находящегося в режиме ПП;
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - действительные и отрицательные (в результате вычисления) корни характеристического уравнения;
 $B_5 \div K_6$ - постоянные.

Проведенный анализ выражений (2), (3), (4) показал, что:
 - при включенных контакторах VIII в течении всего переходного процесса и при работе ТЭД в режиме ПП выражение тока якоря представляет собой сумму затухающих экспонент;

- при увеличении R_w максимальная величина обратного тока уменьшается, при уменьшении - увеличивается. При $R_w \rightarrow \infty$ ток не переходит в область отрицательных значений. Это соответствует переходному процессу при работе ТЭД в режиме ПП;
- горение дуги при коммутации контактора ВШ ограничивает величину обратного тока;
- уменьшение величины α_r уменьшает максимальную величину обратного тока. При определенном его значении (близком к значению α_g) ток не перейдет в область отрицательных значений;
- увеличение величины α_r оказывает на переходный процесс такое же воздействие, как и уменьшение величины α_g ;

Анализ выражений (6) затруднителен, поэтому в главе 4 путем подстановки значений коэффициентов определено направление тока якоря реального ТЭД после коммутации его контактной группы контактора ВШ (при замкнутых контактных группах условного ТЭД).

На рис.2 приведены схемы замещения силовой цепи тепловозов с ЭП ППТ типа 2ТЭ116 при включении ТЭД на напряжение тягового генератора.

Переходный процесс включения ТЭД в режиме ОП на напряжение тягового генератора с аварийным возбуждением описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} L_g \frac{di_1}{dt} + R_g i_1 + L_r \frac{di_1}{dt} + R_r i_1 + R_w i_3 &= U_r - K_{gy} i_2 - K_{kzy} i_1 - K_{rr} i_1; \\ L_d \frac{di_2}{dt} + R_d i_2 - R_w i_3 &= 0; \\ i_1 - i_2 - i_3 &= 0 \end{aligned} \right\} (7)$$

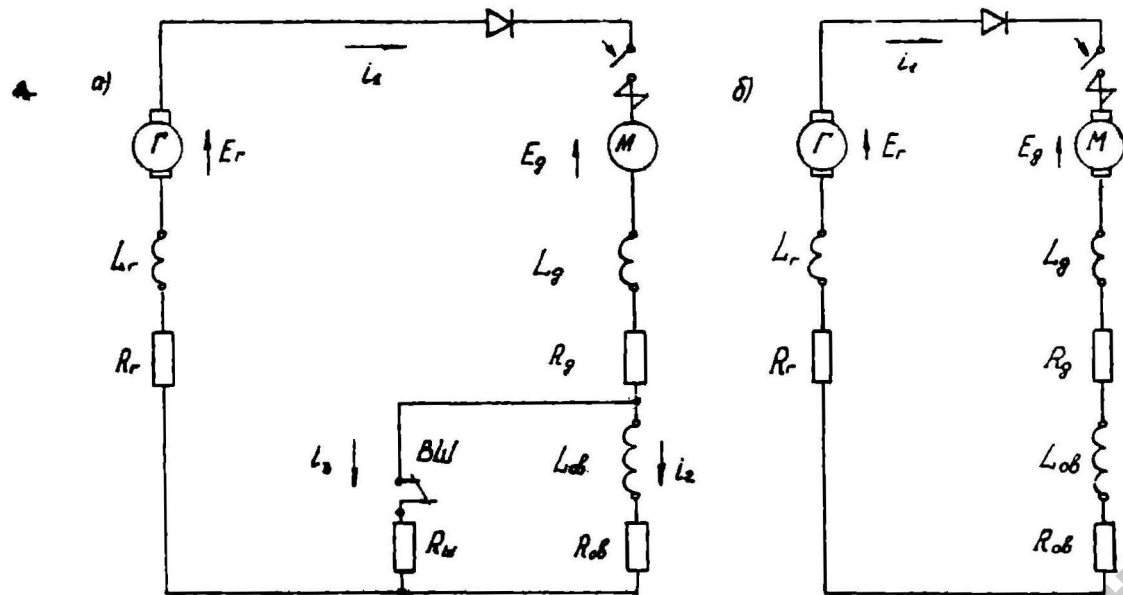
Соотношения между коэффициентами коммутационной реакции якоря ТЭД K_{kzy} и реакции якоря тягового генератора K_{rr} определяют характер переходного процесса.

В первый момент времени при $t = 0^+$ когда $K_{kzy} > K_{rr}$

$$i_2(t) = \left(-\frac{1}{\Delta} - A e^{\alpha t} - B e^{\beta t} \right) \cdot \frac{U_r R_w}{L_d (L_g + L_r)},$$

где Δ α β - корни характеристического уравнения;
 A B - постоянные.

Схема замещения силовой цепи тепловоза с ЭП ШПТ типа 2ТЭ11Б при включении ТЭД
на напряжение тягового генератора



а) в режиме II;

б) в режиме III.

Рис. 2

В ОВ ТЭД возникает отрицательный импульс тока. В дальнейшем наступает его ограничение и отрицательное значение тока начнет уменьшаться:

$$i_2(t) = \frac{1}{\gamma^2} (1 - \cos \gamma t) \cdot \left[- \frac{U_r R_w}{L_{\text{об}} (L_g + L_r)} \right]$$

При комплексно сопряженных α и γ выражение тока ОВ ТЭД:

$$i_2(t) = - \frac{U_r R_w}{L_{\text{об}} (L_g + L_r)} \cdot \left[\frac{1}{\alpha^2 + \gamma^2} - \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \gamma^2} \cdot \gamma} \cdot e^{dt} \cdot \sin(\gamma t - \varphi), \quad \varphi = \arctg \frac{\gamma}{-\alpha} \right]$$

На этом участке возможен колебательный характер изменения тока $i_2(t)$

Дальнейшее протекание переходного процесса будет происходить при все уменьшающемся влиянии коэффициентов $K_{\text{эр}}(t)$ и $K_{\text{крг}}(t)$ на переходный процесс, α и γ примут действительные и отрицательные значения. Выражение тока $i_2(t)$ будет иметь вид:

$$i_2(t) = - \frac{U_r R_w}{L_{\text{об}} (L_g + L_r)} \cdot \left[\frac{1}{\alpha \gamma} - \frac{\gamma e^{-\alpha t} + \alpha e^{-\gamma t}}{\alpha \gamma (\alpha - \gamma)} \right],$$

т.е. будет плавное нарастание тока $i_2(t)$.

Выражение тока якоря ТЭД $i_1(t)$ при $t = 0^+$

$$i_1(t) = \frac{U_r}{L_g + L_r} \cdot \left[\frac{\alpha}{\gamma \alpha} - \frac{\alpha - \alpha}{\alpha (\alpha - \gamma)} \cdot e^{-\alpha t} + \frac{\alpha - \gamma}{\gamma (\gamma - \alpha)} \cdot e^{-\gamma t} \right].$$

Дальнейший характер изменения тока $i_1(t)$ также как и тока $i_2(t)$ зависит от соотношения коэффициентов $K_{\text{крг}}(t)$ и $K_{\text{тр}}(t)$.

Проведенный анализ показал:

- величина отрицательного импульса в ОВ ТЭД зависит от величины резистора R_w . При $R_w \rightarrow \infty$ отрицательного импульса в ОВ ТЭД не возникает. Это соответствует работе ТЭД в режиме ПП. Кроме того, при включении ТЭД в режиме ПП импульс тока $i_1(t)$ ограничен величиной

$$A_{\text{оп}} = \frac{U_0}{L_g + L_r + L_{\text{св}}},$$

в то время как при включении ТЭД в режиме ОП величиной

$$A_{\text{оп}} = \frac{U_0}{L_{\text{св}}(L_g + L_r)}$$

Так как $A_{\text{оп}} > A_{\text{пр}}$, то целесообразно включение ТЭД в режиме ОП исключить.

- если $R_w \rightarrow \infty$ то выражение тока якоря $i_r(t)$ при $t = 0^+$ представляет функцию монотонно изменяющуюся от 0 до $+\infty$.

Во время КТР ТЭД тепловозов с ЭП ПТ и ЭП ППТ контактор ВШ может коммутировать сумму токов якоря и ОБ ТЭД, что может привести к подгару, вызывающему повышенный износ контактов и изменение их переходного сопротивления, влияющего на величину параметра R_w

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям динамики КТР, износа, переходных сопротивлений и коммутации контактов контактора ВШ.

Динамика КТР ТЭД тепловозов с ЭП ПТ исследовалась при:

- срабатывании защит дизеля и ЭП;
- переводе рукоятки контроллера с рабочих позиций на нулевую;
- различных величинах α_r , α_g и R_w величине резистора $R_w \rightarrow \infty$;

Различная величина α_r достигалась изменением очередности коммутации контакторов ВВ и КВ. При отключении контактора ВВ:

$$\alpha_r = \frac{R_{\text{об}}}{L_{\text{об}}},$$

где $R_{\text{об}}$ и $L_{\text{об}}$ - сопротивление и индуктивность ОБ тягового генератора.

При отключении контактора КВ:

$$\alpha_r = \frac{R_{\text{об}} + R_{\text{свг}}}{L_{\text{об}}}$$

где $R_{\text{свг}}$ - сопротивление гасящего резистора СВГ.

Величины R_w и α_g изменялись в результате изменения режима возбуждения ТЭД (ПП, ОП1, ОП2). Величина параметра $R_w \rightarrow \infty$ при КТР создавалась включением в цепь резистора R_w люда в

проводимом направлении при тяговом режиме работы ТЭД на ОП.

На тепловозах 2ТЭ116 с ЭП ПТ динамика КТР ТЭД исследовалась при включении ТЭД на напряжение тягового генератора с аварийным возбуждением.

Исследования были проведены на 6 тепловозах 2ТЭ116, 26 тепловозах 2ТЭ10М, 3 тепловозах ТЭЗ и 2 тепловозах ТЭМ2.

Экспериментальные исследования динамики КТР тепловозов с ЭП ПТ и ЭП ПТТ подтвердили правильность аналитически полученных условий возникновения КТР ТЭД.

Эксперименты позволили установить:

- на тепловозах с ЭП ПТ исследованные КТР не являются причиной возникновения КО, но приводят к нарушению коммутации ТЭД;
- на тепловозах 2ТЭ116 с ЭП ПТТ КТР, как правило, приводит к возникновению КО на одном или нескольких ТЭД;
- существующая система защиты ТЭД от КО требует существенной доработки;
- влияние параметров L_g , L_r и R_{sh} (для тепловозов с ЭП ПТ) на характер КТР ТЭД.

В ходе экспериментов установлено:

- контакты контактора ВШ могут коммутировать во время КТР ТЭД. Величина токов значительно превосходит допустимую для контакторов ВШ типа ПКГ-560, ПКГ-565 и ПКГ-566, что приводит к подгару контактов;
- устранение последствий подгара контактов зачисткой и опиловкой приводит к повышенному их износу. Так установлено, что износ при одной опиловке во время ремонта эквивалентен электрическому износу, который возникает при наработке свыше 700 тыс. км. Интенсивный износ контактов, из-за нехватки их в депо приводит к замене их латунными, что ухудшает токораспределение по цепям ТЭД и, в свою очередь, приводит к неравномерному износу контактов контактора ВШ; неравномерный износ контактов обусловлен также и неодновременной коммутацией контактных мостиков и контактных групп. Поэтому, наряду с запрещением опиловки выявлена и целесообразность стабилизации характеристик контактной системы;
- на износостойкость, как выделено в ходе испытаний при наработке контактов $T = 230$ тыс. км., адгезия и их материал. Так установлено, что композиция ССК-13М более устойчива ССК-13 и ССК-13М;

- промывка контактов бензином через 50 тыс. км. пробега - эффективное средство стабилизации их переходных сопротивлений.

Проведенные экспериментальные исследования позволят повысить надежность силовой цепи не только за счет устранения КТР, но и за счет улучшения конструкции и ремонта контактора ВШ:

- стабилизации работы контактной системы;
- усиления контактной системы путем применения композиции СОК-15М и увеличения площади контактов;
- промывок бензином и прекращения опилонок контактов.

В четвертой главе на основе выбранных критериев проведен анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований и изложены разработанные технические решения, направленные на повышение надежности силовой цепи тепловозов с ЭП ПТ и ППТ.

Критериями для анализа результатов служили:

- время перехода тока через нуль;
- максимальная величина тока в области отрицательных значений;
- энергия дуги при коммутации контактов контактора ВШ.

Анализ результатов подтвердил правильность выбранных допущений при составлении математических моделей и позволил наметить пути устранения КТР ТЭД. Устранение КТР ТЭД принципиально возможно следующими способами:

- изменением α_g ;
- изменением α_r ;
- изменением выдержки времени РВЗ с целью отключения катушек контакторов П+П6 в момент перехода тока якоря ТЭД через нуль.

Изменение α_g за счет изменений параметров ТЭД исключено, т.к. они заложены при проектировании. Возможна однако постановка диодов в цепь сунтирующего резистора $R_{ш}$. В экспериментах этот вариант проверялся во время совместных испытаний с сотрудниками НИИ завода "Электротяжмаш" в 1976г. на тепловозе 2ТЭ10Д-222 и дал положительный результат, но и он имеет существенный недостаток, заключающийся в постановке большого количества диодов, которые требуют дополнительных затрат на устройство их охлаждения.

Изменение α_r осуществимо путем изменения величины резистора СВГ. По ввиду нелинейности индуктивности ОБ тягового генератора резистор СВГ тоже должен быть нелинейным. Это возможно осуществить постановкой однотипных блоков, осуществляющих кусоч-

но-линейную аппроксимацию, но и то для реализации этого решения потребовалась бы сложная система автоматического управления. Поэтому этот вариант неприемлем.

Изменение выдержки времени при отключении контакторов П1+П6, задаваемой реле времени РВЗ, с целью отключения их в момент перехода тока якоря ТЭД через нуль также нереально из-за разброса величины параметра R_{Σ} даже в пределах допустимых значений и неодновременности отключения контактных групп контактов ВШ и П1+П6. Одновременное отключение контакторов ВВ, КВ и П1+П6 также нецелесообразно, так как поездные контакторы отключаются при достаточно высоком напряжении.

Поэтому устранение КТР на тепловозах с ЭП ПТ лучше всего осуществить изменением соотношения величин I_{Σ} и I_r очередностью коммутации контакторов ВШ, ВВ и КВ, установив ее такой, чтобы любое отключение контакторов ВВ и КВ происходило после отключения контакторов ВШ, т.е. при работе ТЭД в режиме ПП.

Так как КТР ТЭД тепловозов с ЭП ППТ типа 2ТЭ11С возникают при условии $K_{Kzy} > K_{Kr}$, то на величину тока возбуждения в области отрицательных значений влияет соотношение коэффициентов K_{Kzy} и K_{Kr} . Изменить их для устранения КТР нереально, так как они являются отношением параметров ТЭД и тягового генератора. Поэтому для ликвидации КТР и ограничения максимальной величины тока якоря целесообразно решение, позволяющее изменить их соотношение включением ТЭД при любом режиме работы тепловоза только на ПП при напряжении, не превышающем напряжения тягового генератора на первой позиции контроллера машиниста, что полностью подтверждается результатами аналитических и экспериментальных исследований.

Анализ показывает, что нагрузки контактов контактора ВШ во время коммутации токов КТР ТЭД значительно больше, чем при коммутации во время переключений ПП ОМГ. Однако основной причиной износа контактов является не электрический износ, а потеря их массы во время опиловок при восстановлении формы поверхности. Тем более для равномерного электрического износа и одинакового состояния поверхностей важна одновременность коммутации контактов контактных мостиков. Одновременность коммутации зависит главным образом от длины пружин. Длина пружин влияет также на скорость размыкания контактов, т.е. время горения t_{Σ} дуги. Поэтому

возможны участки устойчивого состояния дуги, что также увеличивает ее воздействие на контакты. Неодновременность коммутации контактных групп переводит ТЭД, чьи контактные группы скоммутировали раньше снова в тяговый режим.

Износостойкость композиции ССК-15М, как показал анализ, в два раза выше чем у композиции СОМ-10М.

В результате анализа результатов аналитических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены технические решения, позволяющие повысить надежность силовой цепи за счет устранения КТР, усиления конструкции и улучшения ремонта контактора ВШ тепловозов типа 2ТЭ10М с ЭП ПТ и тепловоза 2ТЭ116 с ЭП ППТ.

В дтой главе произведен расчет экономической эффективности от внедрения разработанных технических решений, направленных на повышение надежности силовой цепи, который составил 595 руб. на 1 млн.км. пробега тепловоза.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. В работе аналитически и экспериментально изучены неизвестные ранее кратковременные тормозные режимы ТЭД тепловозов с ЭП ПТ и ЭП ППТ типа 2ТЭ116. Их исследование вызвано теми отрицательными воздействиями, которые они оказывают на силовую цепь. Разработанные математические модели исследуемых режимов работы силовой цепи тепловозов с ЭП ПТ отражают варианты:
 - контакторы ВШ включены в течение всего переходного процесса;
 - одновременная коммутация контактных групп контактора ВШ;
 - неодновременная коммутация контактных групп контактора ВШ;
 - отключение возбуждения тягового генератора при работе ТЭД на полном возбуждении.
3. Математические модели для тепловозов с ЭП ППТ составлены для включения ТЭД на напряжение тягового генератора при работе их в режиме:
 - ослабленного возбуждения;
 - полного возбуждения.
4. Проверка на адекватность математической модели силовой цепи тепловозов с ЭП ПТ подтвердила правильность принятых допущений для исследуемых режимов.

5. На основании разработанных математических моделей получены условия возникновения КТР ТЭД:

$\alpha_r > \alpha_g$ при отключении возбуждения тягового генератора тепловозов с ЭП ПТ и выявлено влияние работы контактора ослабления возбуждения и параметров силовой цепи на динамику исследуемых режимов;

$K_{rg} > K_r$ при включении ТЭД на напряжение тягового генератора тепловозов с ЭП ППТ типа 2ТЭ116.

6. Аналитические и экспериментальные исследования показали:

- коммутация контактора ВШ во время КТР ТЭД ограничивает величину тормозного тока;
- неодновременность коммутации контактных групп приводит к двухразовому переходу тока якоря ТЭД через нуль;
- неодновременность коммутации контактных групп и контактов контактного мостика контактора ВШ приводит к неравномерному износу контактов;
- коммутация во время КТР вызывает "подгар" контактов, устранение которого опидовкой приводит к чрезмерному их износу.

7. Анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований на основании выбранных критериев позволил определить главные направления ликвидации КТР и их последствий. По выбранным направлениям были разработаны и внедрены технические решения позволяющие исключить:

- КТР ТЭД тепловозов с ЭП ПТ и ЭП ППТ;
- включение на аварийном возбуждении тягового генератора тепловоза 2ТЭ116 ТЭД на напряжение свыше 200 В.

8. Заводом "Электротяжмаш" им.В.И.Ленина внедрены результаты совместных исследований контактора ВШ типа ПКГ-560, которые использовались при разработке контакторов типа ПКГ-565 и ПКГ-560 у которых:

- уменьшена неодновременность коммутации контактных групп и контактных мостиков за счет самоустанавливающейся системы контактов и сварной рамы, что позволило исключить повторный переход ТЭД, во время КТР, в двигательный режим и уменьшить неравномерность износа контактов;
- применена композиция СОК-15М, что позволило увеличить износоустойчивость контактов в 2,5 раза по сравнению с контактами из композиции СОК-15 и уменьшить переходное сопротивление;

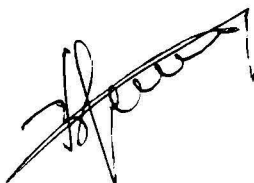
- увеличена площадь контактов.

9. Экономическая эффективность от внедрения разработанных технических решений, повышающих надежность силовой цепи, составила 595 руб. на 1 млн.км.пробега тепловоза.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Некоторые переходные процессы в энергетической цепи тепловоза типа ТЭ10. Труды ТашИИТ, 1972, вып.88, с.157-165 (соавтор А.Х. Газиев).
2. Совершенствование переходных процессов в электрических передачах тепловозов при действии сильных возмущений. Труды ТашИИТ, 1974, вып.106, с.52-64 (соавтор В.И.Юшко).
3. Итоги эксплуатационных испытаний электрических передач тепловозов 2ТЭ10М и 2ТЭ11Б при действии сильных возмущений. Труды ТашИИТ, 1975, вып.117, с.3-15 (соавторы В.И.Юшко, Э.С.Исмаилов).
4. Устранение перенапряжения в силовой схеме электрической передачи локомотива. Межотраслевая информация. УЗНИИТИ, Ташкент, 1977, с.2 (соавтор И.П.Гордеев).
5. О некоторых закономерностях пробоя корпусной изоляции якорей тяговых электродвигателей локомотивов в процессе эксплуатации. Труды ТашИИТ, 1978, вып.146, с.70-80 (соавтор И.П.Гордеев).
6. Переходные процессы в силовой цепи и цепи мотор-вентиляторов охлаждения тепловозов 2ТЭ11Б при перебросах и круговых огнях. Труды ТашИИТ, 1976, вып.126, с.7-10.
7. Исследования условий работ контакторов ослабления поля тепловозов 2ТЭ10М и 2ТЭ11Б. Труды ТашИИТ, вып.97, 1973, с.68-70 (соавторы А.Х.Газиев, А.А.Каримов).
8. Исследование диэлектрических характеристик элементов силовой цепи локомотивов с двигателями постоянного тока. Межвузовский сборник научных трудов, вып.142, ТашИИТ, Ташкент, 1977, с.65-76 (соавтор И.П.Гордеев).
9. Ращредложение № 5997 заводу "Электротяжмаш" (соавтор В.И.Юшко)
10. Исследование кратковременных тормозных режимов тяговых электродвигателей тепловозов с электрической передачей постоянного тока. Деп.рук. №2508, ЦНИИТЭИ МПС, М., 1984, 48 с.
11. Исследование кратковременных тормозных режимов тяговых электродвигателей тепловозов с электрической передачей переменного-постоянного тока. Деп.рук. № 2508, ЦНИИТЭИ МПС, М., 1984, 10 с.

12. Экспериментальное исследование кратковременных тормозных режимов тяговых электродвигателей тепловозов с электрической передачей постоянного и переменного-постоянного тока. Доп.рук. № 3652 ЦНИИТЭИ МПС, М., 1986, 82 с.
13. А.с. СССР №1280652, БИ №48, 1986, Устройство для контроля динамических параметров подвижных контактов (соавторы М.Ф. Зарипов, А.Х.Газиев, Г.А.Марфина).
14. А.с. СССР № 712887, БИ №4, 1980. Устройство для защиты электрической цепи от короткого замыкания на корпус (соавтор И.П. Гордеев).

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, slanted upwards from left to right.

НТБ
ДНУЖТ

МИДКОВ Владимир Николаевич

"Повышение надежности силовой цепи тепловозов с
электропередачей",

специальность: 05.22.07 - Подвижной состав железных
дорог и тяга поездов.

Р-2100X

Подписано к печати 26.10.87г.

Усл.п.л. I Тираж 100

Заказ № 1662

Бесплатно

Типография