

СССР—МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

УДК 621.333:531.3—19

АВРАМЕНКО Виктор Стефанович

**ВИБРАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЯГОВЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ И ПУТИ
ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ**

(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 — 1986 г.

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском
тепловозном институте (ВНИТИ)

Научный руководитель - заслуженный деятель науки
и техники УССР, доктор
технических наук, профессор
КУЦЕНКО С.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор
САВОСЬКИН А.Н.;
кандидат технических наук,
доцент
ЕРШОВ В.И.

Ведущая организация - Главное Управление
локомотивного хозяйства МПС

Защита состоится "14" марта 1986 г. в "15" час.
в ауд. № 364 на заседании специализированного совета КИИ4.07.01
при Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспо-
рта им. М.И.Калинина по адресу: 320629, ГСП, г. Днепропетровск-10,
ул. Академика Лазаряна, 2.

Позерніть книгу не пізніше зазначеного терміну.

бібліотеке Дніпропетров-
ського залізничного транспорту.

1986 г.

заверенные печат-
ного совета.

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Ведущая роль в транспортной системе страны принадлежит железнодорожному транспорту, на долю которого приходится около двух третей внутреннего грузооборота. Решениями XXVI съезда КПСС и последующих Пленумов предусматривается повышение эффективности локомотивного парка и дальнейшее наращивание провозной способности магистральных направлений. Осуществление поставленных задач требует планомерного внедрения достижений научно-технического прогресса, одним из главных направлений которого является обеспечение высокой эксплуатационной надежности технических средств железнодорожного транспорта.

4894a
Проблема повышения надежности локомотивного парка в настоящее время стала поистине государственной задачей, что обусловлено высокой грузонапряженностью наших железных дорог, не имеющей аналогов в мировой практике, а отсюда - с резко возросшей ценой отказа локомотива в пути следования. Исследованиями ВНИИЖТ установлено, что в отдельные годы отказы локомотивов приводили к снижению пропускной способности дорог почти на 4%.

Лимитирующим узлом в повышении эксплуатационной надежности тепловозов является тяговый привод: около 30% неплановых ремонтов и порч в пути следования связаны с его повреждениями. Из них на долю механических повреждений узлов тягового электродвигателя (ТЭД) в среднем по сети приходится свыше 50% всех отказов по тяговому приводу, на отдельных дорогах эта цифра достигает 60-70%. Прямые затраты на восстановление работоспособности тепловозов после таких отказов составляют более 1 миллиона рублей в год.

Исследования, направленные на повышение эксплуатационной надежности ТЭД, составной частью входят в координационный план важнейших научно-технических работ ряда Министерств, утвержден-



НИИЖТ
ДНУЖТ

ный Государственным комитетом СССР по науке и технике и актуальность их очевидна. Конкретное отражение задачи исследований нашли в принятом совместном решении МПС, Минэлектротехпрома и Минтяжмаша "О мерах по устранению повреждений электродвигателя ЭДП18А" от 3.10.83 г. и утвержденном указанными Министерствами Комплексном плане работ. Исследования, являющиеся предметом диссертации, выполнены в соответствии с Комплексным планом в творческом сотрудничестве с ведущими коллективами ВНИИХТ и НИИЭТМ.

Цель работы. Повышение эксплуатационной надежности ТЭД на основе экспериментально-теоретических исследований вибрационного состояния ТЭД и процессов, определяющих уровень вибронгруженности их конструктивных элементов в эксплуатации, направленных на разработку взаимно увязанных мероприятий как в области их проектирования и производства, так и в области эксплуатации.

Методика исследований. Методической основой исследований являются математический аппарат матричной алгебры, а также методы теории вероятности и математической статистики. Экспериментальные исследования были выполнены с применением современных технических средств регистрации и обработки опытных данных, включая ЭВМ.

Научная новизна заключается в разработке расчетно-экспериментального метода исследований колебаний ТЭД с учетом упругих свойств его статора и проведении комплексных исследований вибрационных характеристик ТЭД и вибронгруженности его конструктивных элементов под действием эксплуатационных возмущений с частотным диапазоном до 1000 Гц.

Практическая ценность работы состоит:

- в разработке рекомендаций по снижению виброактивности статора ТЭД путем смещения резонансных зон низших форм колебаний статора в высокочастотную область спектра зубцовой вибрации;

- в разработке и реализации рекомендаций по снижению вибронагруженности главных полюсов магнитной системы ТЭД за счет отстройки обобщенных частот колебаний элементов конструкции от резонансных зон колебаний статора, что позволит увеличить ресурс магнитных систем ТЭД до планового периодического ремонта;

- в разработке рекомендаций по нормам технического содержания тяговых зубчатых передач в эксплуатации и периодичности восстановления эвольвентного профиля зубьев зубчатых колес, направленных на снижение виброактивности зубчатых передач и снижение вибронгруженности ТЭД;

- в разработке и реализации при проведении экспериментальных исследований методики вибро- и тензометрирования токонеоущих конструктивных элементов ТЭД.

Внедрение результатов работы. Обоснованные в диссертации рекомендации по снижению вибронгруженности магнитных систем ТЭД положены в основу разработанной НИИЭТМ виброустойчивой конструкции главных полюсов серийных ТЭД магистральных тепловозов. Утвержденный НИИЭТМ и согласованный МПС экономический народнохозяйственный эффект составит 736,6 тыс.руб. на годовой выпуск тепловозов.

Рекомендации исследований по предельным нормам износа зубчатых тяговых передач тепловозов в эксплуатации и восстановлению эвольвентного профиля зубьев зубчатых колес приняты МПС к использованию. К настоящему времени станками КУ-405 для лезвийной обработки зубчатых колес оснащены Даугавпилсский, Днепропетровский и Изюмский тепловозоремонтные заводы; выпущена партия колесных пар с восстановленным профилем зубьев зубчатых колес в количестве 900 шт.

Апробация работы. Диссертационная работа и ее основные положения докладывались на семинаре "Кибернетика электроэнергетических систем" по теме "Моделирование возмущений в задачах проекти-

ДНУКТ

рования подвижного состава" в 1979 г. (Брянск, БИТМ); на Межведомственной научно-технической конференции по проблемам виброиспытаний, вибропрочности и виброустойчивости подвижного состава в 1981 г. (Коломна, ВНИТИ); на Всесоюзной научно-технической конференции "Создание локомотивов большой мощности и повышение их технического уровня" в 1981 г. (Ворошиловград, ВМИ); на научно-техническом совете отдела динамики ВНИТИ в 1985 г. (Коломна, ВНИТИ); на научно-техническом совете секции динамики и прочности ВНИТИ в 1985 г. (Коломна, ВНИТИ); на семинаре кафедр Механического факультета ДИИТ в 1985 г. (Днепропетровск, ДИИТ).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 статей, получено одно авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 231 стр., в том числе текста 150 стр., рисунков 56, таблиц 4, список литературы из 168 наименований на 22 стр., приложение на 22 стр.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение раскрывает актуальность темы диссертации, цель и оущность выполненных исследований.

В первой главе излагается состояние исследуемой проблемы, анализируются результаты теоретических и экспериментальных работ в области исследований динамики ТЭД, формулируются задачи диссертации.

Основы фундаментальных исследований динамики подвижного состава заложены в работах отечественных ученых Е.П. Блохина, М.Ф. Вериги, С.В. Вершинокого, В.Д. Дановича, В.Н. Иванова, И.П. Исаева, А.А. Камаева, А.Я. Когана, А.Н. Коняева, М.Л. Коротенко, Н.Н. Кудрявцева, С.М. Куценко, В.А. Лазаряна, Л.А. Манашкина, В.Б. Меделя, М.П. Пахомова, А.Н. Савоськина, В.Ф. Ушкалова,

М.А. Фришмана, Г.М. Шахунянца и др., внесших большой вклад в развитие Советской транспортной науки. Частным вопросом этой многоплановой проблемы, имеющей большое практическое значение и народнохозяйственный эффект, являются исследования, направленные на повышение эксплуатационной надежности тяговых приводов тепловозов с опорно-осевым подвешиванием ТЭД.

Вопросы динамики ТЭД при действия различных возмущающих факторов со стороны пути и экипажа освещены в работах В.Б. Медела, В.П. Евожкова, А.С. Евстратова, Э.П. Елбаева, В.Н. Иванова, И.П. Исаева, В.А. Камаева, Н.А. Ковалева, М.П. Пахомова, А.Н. Савоскина, в которых приведены результаты исследований колебаний ТЭД в зависимости от его массовых и геометрических параметров, жесткости пружин подвешивания к раме тележки, частоты возмущений; рассмотрены вопросы влияния обрессоренных масс на динамику ТЭД, в том числе с учетом упругих и диссипативных характеристик пути. Теоретические и экспериментальные исследования А.И.Беляева, И.В. Бирюкова, А.Д.Глуценко, В.А.Герасимова, В.А.Коваля, А.Я.Когана, С.М.Куценко, Г.С.Михальченко, А.П.Павленко и работы зарубежных авторов Х.Х.Дженкинса, Д.Е.Стефенсона и др. посвящены исследованиям колебаний ТЭД на упругом пути при различных параметрах упругих связей между ТЭД, осью колесной пары и рамой тележки с учетом нелинейностей в упругих элементах, в зоне контакта колеса и рельса, а также нелинейных характеристик трения в элементах привода и пути при периодических и стохастических возмущениях с частотным диапазоном до 100 Гц. И во всех известных автору исследованиях ТЭД рассматривался как абсолютно жесткий, недеформируемый элемент конструкции, не учитывались упругие характеристики его статора. Такое упрощение придает исследованиям ограниченный характер в силу того, что не позволяет получить представление о вибрационном состоянии ТЭД в частотном диапазоне зубцовых вибрационных

с высоким энергетическим уровнем и широким спектральным составом.

При всей широте охвата вопросов динамики ТЭД при опорно-осевом подвешивании, исследований, посвященных высокочастотному нагружению ТЭД, мало. В этой области известны работы И.В. Бирюкова, Г.И. Вишневецкого, А.Д. Глуценко, В.В. Кочергина, Н.А. Малоземова, М.М. Машнева, В.Н. Старченко, М.Я. Суздальцева, В.И. Тютиня, Н.Н. Тульчинской, зарубежных исследователей К. Мияниши, Ш. Коши и др. Однако круг вопросов указанных исследований ограничен изучением динамических нагрузок в зубчатой передаче тягового привода, в отдельных случаях - изучением вибронгруженности корпуса редуктора, вала якоря ТЭД, подшипникового щита; в исследованиях не ставилась задача охватить воедино вопросы динамики и долговечности элементов привода. Большое внимание в зарубежных исследованиях (США, Япония, ПНР) уделяется актуальным вопросам снижения виброактивности тяговых зубчатых передач.

В соответствии с изложенной выше оценкой состояния исследований в области динамики ТЭД в I главе работы формулируются задачи, являющиеся предметом диссертации:

1. Исследование причин, характера и динамики повреждаемости ТЭД в эксплуатации в их взаимосвязи с динамическими нагрузками, эксплуатационными факторами и конструктивными особенностями ТЭД.

2. Экспериментально-теоретические исследования собственных форм и частот колебаний ТЭД с учетом упругих характеристик статора.

3. Экспериментально-теоретические исследования колебаний ТЭД и вибронгруженности его конструктивных элементов в частотном диапазоне вибровозбуждений до 650 Гц.

4. Разработка и апробация конструкторско-технологических рекомендаций по эффективному снижению виброактивности тяговой зубчатой передачи и вибронгруженности ТЭД.

НТБ
ДНУЖТ

Во второй главе дается характеристика динамических нагрузок, действующих на ТЭД в эксплуатации. Показано, что в частотном диапазоне до 100 Гц основным источником вибрации ТЭД при опорно-осевом подвешивании являются вибровозбуждения, обусловленные взаимодействием колес с верхним строением пути. В диапазоне частот 200...650 Гц определяющими являются периодические вибровозбуждения, связанные с работой тяговой зубчатой передачи. Приведены статистические характеристики процесса случайных колебаний ТЭД под действием динамических нагрузок - спектральные плотности мощности виброускорений ТЭД, плотности распределений амплитуд виброускорений ТЭД для участков пути с различной конструкцией и различным техническим состоянием верхнего строения, указаны факторы, определяющие уровень динамических воздействий на ТЭД.

На основе анализа повреждаемости ТЭД с опорно-осевым подвешиванием, длительное время эксплуатируемых в различных климатических зонах, выявлено влияние конструктивных особенностей ТЭД, климатических и эксплуатационных факторов на показатели его надежности, определены характер и основные причины повреждений узлов ТЭД в эксплуатации, выявлены слабые узлы конструкции и дана оценка эффективности внедрения конструкторских разработок на последующих модификациях ТЭД и в процессе их модернизации в эксплуатации.

Установлено, что уровень повреждаемости однотипных по конструкции главных полюсов магнитных систем ТЭД, связанных с различными стенками статора, не коррелируется с теми величинами инерционных нагрузок, которые действуют на них при колебаниях ТЭД как жесткого тела на упругом пути. Предполагается, что статор ТЭД, как элемент конструкции и передаточное звено в сложной колебательной системе, не является абсолютно жестким телом, а как упругая оболочка активно участвует в колебательных процессах и его вибрационные характеристики оказывают существенное влияние на вибра-

гуженность связанных с ним конструкцией. Сделан вывод о необходимости более углубленного изучения колебаний статора и особенностей взаимодействия конструктивных элементов ТЭД в диапазоне высокочастотных вибровозбуждений для выяснения законов распространения вибрации в колебательной системе и целенаправленного поиска конструкторских решений, повышающих виброустойчивость ТЭД.

В третьей главе приводятся результаты теоретических исследований свободных колебаний статора ТЭД как упругой оболочки, поскольку избирательные свойства колебательной системы могут быть выявлены из рассмотрения ее свободных незатухающих колебаний. Точное решение задачи колебаний пространственной конструкции со сложным распределением жесткостных и инерционных параметров затруднительно. Приемлемые результаты можно получить приближенными методами - сведением пространственной конструкции к стержневой системе с конечным числом сосредоточенных масс.

При выборе расчетной модели были приняты допущения:

1. При сохранении неизменными массовых и жесткостных характеристик объекта и модели, плоская упругая рама, представляющая среднее сечение статора диаметральной плоскостью, проходящей через центры масс полюсов, способна сохранить адекватность объекту исследований в рамках поставленной задачи.

2. Диссипативные силы внутреннего трения не учитывались.

В соответствии с основными допущениями эквивалентная приведенная система представлена замкнутой 8-элементной стержневой рамой, контур которой описывается средней линией поперечного сечения статора. Элементы упругой рамы нагружены сосредоточенными массами m_i главных и дополнительных полюсов с приведенными значениями масс соответствующих стенок статора. В качестве обобщенных координат q_i приняты радиальные прогибы стержней расчетной системы, связанные с прямоугольной системой координат $X-Y$ прост-

ми геометрическими соотношениями.

Для исследований свободных колебаний статора было разработано две расчетные модели (рис. I):

А - свободная стержневая система без внешних связей, ограничивающих перемещения стержней по обобщенным координатам q_i ;

Б - стержневая система с учетом внешних связей, накладываемых на реальный объект условиями опорно-осевого подвешивания ТЭД на тепловозе, в допущении беззазорного соединения статора с осью колесной пары и свободным опиранием на раму тележки.

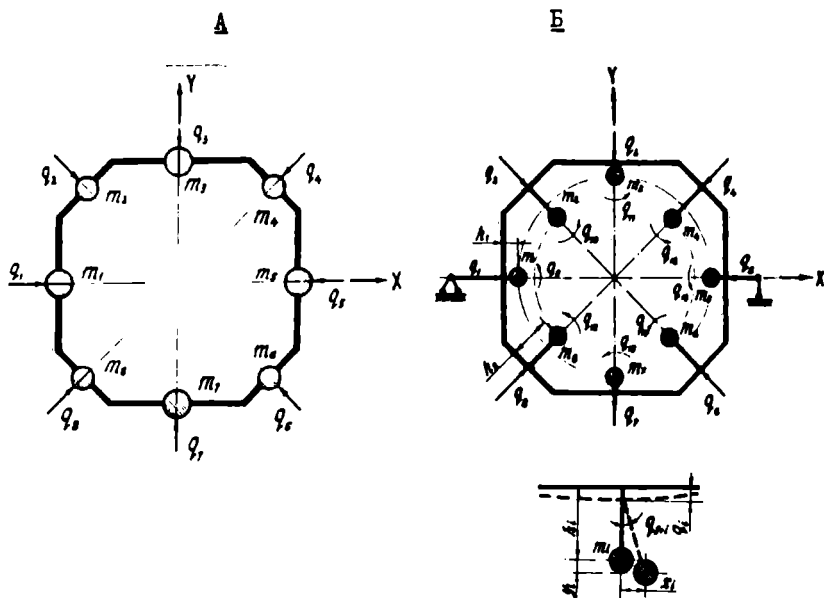


Рис. I.

Для вывода уравнений движения применен энергетический метод, основанный на использовании уравнений Лагранжа 2-го рода в обобщенных координатах. Применительно к расчетной модели А свободные линейные колебания системы с 8 степенями свободы около положения устойчивого равновесия описываются системой линейных однородных

дифференциальных уравнений 2-го порядка относительно координат q_i с постоянными коэффициентами:

$$\left. \begin{aligned} q_1 + \Gamma_{11} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{12} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{10} m_0 \ddot{q}_0 &= 0; \\ q_2 + \Gamma_{21} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{22} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{20} m_0 \ddot{q}_0 &= 0; \\ q_3 + \Gamma_{31} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{32} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{30} m_0 \ddot{q}_0 &= 0; \\ q_4 + \Gamma_{41} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{42} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{40} m_0 \ddot{q}_0 &= 0; \\ q_5 + \Gamma_{51} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{52} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{50} m_0 \ddot{q}_0 &= 0; \\ q_6 + \Gamma_{61} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{62} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{60} m_0 \ddot{q}_0 &= 0; \\ q_7 + \Gamma_{71} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{72} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{70} m_0 \ddot{q}_0 &= 0; \\ q_8 + \Gamma_{81} m_1 \ddot{q}_1 + \Gamma_{82} m_2 \ddot{q}_2 + \Gamma_{80} m_0 \ddot{q}_0 &= 0, \end{aligned} \right\}$$

В матрично-векторной форме:

$$\{ \ddot{q}_i \} + \{ a_{ij} \} \{ \Gamma_{ij} \} \{ \ddot{q}_i \} = 0, \quad i, j = 1, 2, \dots, 8;$$

где: $\{ a_{ij} \}$ - матрица коэффициентов инерции;

$\{ \Gamma_{ij} \}$ - матрица статических коэффициентов влияния.

Матрица $\{ a_{ij} \}$ определяется коэффициентами кинетической энергии системы и представляет массовые характеристики системы. Элементы матрицы $\{ \Gamma_{ij} \}$ представляют собой прогибы стержней расчетной модели под действием единичных сил по обобщенным координатам q_i и были определены экспериментально, путем непосредственно измерения статических деформаций элементов статора под действием приложенной к ним пробной нагрузки.

Решением частотного, или "векового" уравнения, к которому приводится система уравнений свободных колебаний, были найдены собственные частоты ω и относительные амплитуды A_i перемещений центров масс полюсов m_i по обобщенным координатам q_i :

$$\det (E - \omega^2 \{ a_{ij} \} \{ \Gamma_{ij} \}) = 0;$$

$$(E - \omega^2 \{ a_{ij} \} \{ \Gamma_{ij} \}) A_i = 0,$$

где: ω - угловая частота системы;

E - единичная матрица.

Расчетная схема Б учитывает внешние связи и угловые колебания

ИТЬ
ДНУЖТ

центров масс полюсов относительно стенок статора и позволяет в первом приближении оценить влияние жесткостных параметров статора на спектр собственных частот и формы колебаний системы. С определенными допущениями эту модель можно считать адекватной статору ТЭД типа ЭДП18Б, у которого увеличена жесткость передней стенки за счет применения массивного литого картера коробчатого сечения для циркуляционной системы смазки моторно-осевых подшипников.

Анализ результатов расчета свободных колебаний статора, представленного расчетными схемами А, Б, показал:

- статор ТЭД не является абсолютно жестким, недеформируемым элементом конструкции. В реальных условиях опорно-осевого подвешивания ТЭД на тепловозе, при наличии зазоров в моторно-осевых подшипниках и узле траверсной подвески, статор ведет себя как свободная колебательная система без внешних связей;

- низшие собственные частоты колебаний системы находятся в частотном диапазоне зубцовых вибровозбуждений. Относительные амплитуды радиальных перемещений масс полюсов отличаются между собой в 2,2-3,1 раза как между отдельными низшими собственными формами, так и внутри каждой из них, т.е. колебательная система обладает ярко выраженными избирательными свойствами (рис. 2);

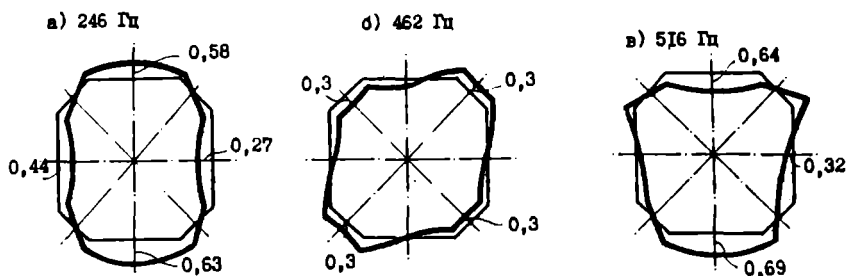


Рис. 2.

- избирательное свойство системы предопределяет неравномерную вибронегруженность связанных со статором одиночных конструк-

ций полюсов и различные показатели их эксплуатационной надежности;

- увеличение жесткости передней стенки статора ведет к смещению низших собственных частот колебаний системы в высокочастотную область спектра. Собственные формы колебаний являются многоузловыми с низкими относительными амплитудами перемещений масс полюсов по обобщенным координатам q_i .

Сходимость результатов расчета низших собственных частот и форм колебаний статора с экспериментом составляет 5-30%.

В главе 4 формулируются цели экспериментальных исследований, приведена методика испытаний, регистрации и обработки опытных данных.

Определены собственные частоты и формы колебаний статора как упругой оболочки с использованием статистических методов спектрального анализа на ЭВМ виброускорений его элементов при свободных затухающих колебаниях, отмечена близкая сходимость эксперимента с результатами теоретических исследований собственных частот и форм колебаний.

Установлено, что вибронегруженность ТЭД в эксплуатации определяется характером и уровнем действующих на ТЭД вибровозбуждений, а также АЧХ статора и конструктивных элементов ТЭД; дан анализ качественной и количественной сторон динамических процессов, определяющих вибрационное состояние и вибронегруженность конструктивных элементов ТЭД от действия внешних инерционных нагрузок со стороны пути и высокочастотных вибровозбуждений со стороны тяговой зубчатой передачи.

Показано, что вибронегруженность ТЭД в частотном диапазоне до 100 Гц полностью определяется инерционными нагрузками, действующими на ТЭД при его колебаниях как жесткого тела на упругом пути и пружинах траверсной подвески. На пути с удовлетворительным техническим состоянием верхнего строения максимальные величины

виброускорений ТЭД, зарегистрированных над осью колесной пары и над осью якоря, составляли соответственно 76 и 41 м/с², при этом динамические напряжения в узле "концевой виток-клеммный вывод" не превышали 62,5 МПа.

В частотном диапазоне 200...650 Гц статор ТЭД колеблется как упругая оболочка по низшим собственным формам и виброн нагруженность ТЭД определяется резонансными колебаниями статора и связанных с ним конструктивных элементов магнитной системы ТЭД, возбуждаемыми первой гармоникой зубцовой вибрации.

Собственные характеристики статора, как колебательной системы с ярко выраженным избирательным овойством, существенным образом влияют на виброн нагруженность механически связанных с ним конструктивных элементов магнитной системы ТЭД из-за непропорционального распределения энергии колебаний между отдельными элементами статора при различных формах его резонансных колебаний и различном соотношении спектра собственных частот статора и парциальных частот конструктивных элементов системы.

При изношенной тяговой передаче средние по модулю амплитуды виброускорений элементов статора в резонансных зонах достигали 130...145 м/с², что примерно в 3 раза превышает уровень виброускорений ТЭД от действия внешних динамических нагрузок со стороны пути. При этом динамические напряжения в узле "концевой виток-клеммный вывод" составляли 81,5 МПа.

Отмечена существенная разница в уровнях виброн нагруженности статора и динамических напряжений в конструктивных элементах магнитной системы, достигающая 3-кратной величины. Собственные частоты колебаний узла "концевой виток-клеммный вывод" находятся в частотном диапазоне резонансных колебаний статора и очень близки к собственным частотам статора. Коэффициенты динамического усиления виброускорений и динамических напряжений в узле достигали

значений 20...40 при резонансных колебаниях системы.

Не отличаясь качественно, виброускорения и динамические напряжения в конструктивных элементах магнитной системы ТЭД от действия зубцовых вибровозбуждений со стороны зубчатой передачи с неизношенными, приработанными зубьями примерно в 7...10 раз ниже, чем при изношенной передаче.

Разработаны предложения по эффективной виброзащите ТЭД, включающие конструкторско-технологические мероприятия по рациональному изменению жесткостных и массовых параметров системы с целью отстройки собственных частот системы от рабочего диапазона зубцовых вибровозбуждений. Реализация НИИ завода "Электротяжмаш" предложений автора в опытных конструкциях главных полюсов и результаты сравнительных стендовых и натурных (в условиях эксплуатации) испытаний опытных и серийной конструкции показали их высокую эффективность.

Глава 5 посвящена экспериментальным исследованиям влияния степени отклонения профиля зубьев зубчатых колес тяговых зубчатых передач от эвольвентного на виброн нагруженность ТЭД и разработке технически и экономически обоснованных норм допустимого износа зубчатых передач и периодичности восстановления эвольвентного профиля зубчатых колес в эксплуатации.

Разработана методика экспериментальных исследований и методика обработки на ЭВМ опытных данных с использованием статистических методов спектрального и амплитудного анализа виброускорений ТЭД. Приведены результаты натурных испытаний ТЭД в условиях эксплуатации.

Установлено, что при величинах отклонений профиля зубьев от эвольвентного до 0,4 мм существенного ухудшения динамики ТЭД не происходит. Стклонение профиля свыше 0,4 мм вызывает резкое увеличение интенсивности вибрации и рост динамических инерционных

4834a

нагрузок, действующих на ТЭД, абсолютная величина которых определяется не только реализуемой тепловозом силой тяги при различных скоростях движения, но и техническим состоянием пути: с ростом скорости движения увеличивается динамическое воздействие от неровностей пути, но уменьшается реализуемый ТЭД вращающий момент; а с уменьшением среднего момента, передаваемого зубчатой парой, уменьшается динамическое воздействие со стороны тяговой передачи. На пути с удовлетворительным техническим состоянием верхнего строения, вызывающем относительно низкие динамические воздействия на колесно-моторный блок, заметно возрастает доля динамических воздействий со стороны тяговой передачи. Так, на участках заполярного полигона с сильным динамическим воздействием со стороны верхнего строения, доля энергии зубцовой вибрации в общем энергетическом спектре вибрации ТЭД составляет примерно 0,2...0,42 при величинах отклонения профиля зубьев от эвольвентного 0,6...0,8 мм. На пути с удовлетворительным техническим состоянием вибронагруженность ТЭД определяется, в основном, состоянием зубчатой передачи: доля энергии зубцовых вибровозбуждений в общем энергетическом спектре вибрации ТЭД составляет 0,65...0,75 при величинах отклонения профиля зубьев от эвольвентного 0,6...0,8 мм.

Рекомендовано величину отклонения профиля зубьев зубчатых колес 0,4 мм считать в качестве предельной допустимой в эксплуатации, при достижении которой профиль зубьев колеса должен восстанавливаться путем механической лезвийной обработки на плановых периодических ремонтах тепловозов. Формирование в тяговом редукторе зубчатого колеса с восстановленным профилем должно осуществляться только с новой ведущей шестерней.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. Уровень эксплуатационной надежности ТЭД определяется в ос-

ИТЬ
ДРУЖК

новном механическими усталостными разрушениями его узлов под действием динамических инерционных нагрузок со стороны пути и высокочастотных вибровозбуждений со стороны тяговой зубчатой передачи.

2. В диапазоне среднечастотных вибровозбуждений 0-100 Гц ТЭД колеблется как жесткое тело на упругом пути и пружинах траверсной подвески. Энергетический спектр виброускорений ТЭД состоит из постоянной составляющей типа „белого шума“ и узкополосных составляющих, соответствующих собственным частотам колебаний ТЭД. Вибронагруженность конструктивных элементов ТЭД определяется техническим состоянием верхнего строения пути.

3. В диапазоне высокочастотных вибровозбуждений 200.- 650 Гц статор ТЭД колеблется как свободная упругая оболочка по низшим собственным формам. Энергетический спектр виброускорений ТЭД состоит из узкополосных составляющих, соответствующих собственным частотам колебаний статора. Вибронагруженность связанных со статором конструктивных элементов ТЭД в этом случае определяется резонансными колебаниями статора, возбуждаемыми первой гармоникой зубчатой вибрации.

4. Статор ТЭД, как колебательная система, обладает ярко выраженными избирательными свойствами. Относительные амплитуды радиальных виброперемещений центров инерции масс полюсов магнитной системы при резонансных колебаниях отличаются между собой в 2,2... 3,1 раза, как между отдельными низшими собственными формами, так и внутри каждой из них.

5. Вибронагруженность и статистические показатели надежности механически связанных со статором конструктивных элементов магнитной системы ТЭД определяются избирательными свойствами статора.

6. С целью снижения виброактивности статора путем уменьшения и более равномерного распределения амплитуд виброперемещений по элементам статора при его резонансных колебаниях и смещения резонансных частот

нанонных зон низших форм колебаний в высокочастотную область спектра вибровозбуждений за счет изменения жесткостных и инерционных параметров статора, представляется обоснованным переход на серийное производство ТЭД типа ЭД118Б с измененной конструкцией статора.

7. Эффективное снижение коэффициентов динамичности системы и вибронгруженности главных полюсов магнитных систем ТЭД достигается отстройкой собственных частот колебаний элементов их конструкции от резонансных зон колебаний статора за счет внедрения в производство ряда конструкторских мероприятий и изменения технологического процесса изготовления катушек главных полюсов, реализованных на опытных конструкциях полюсов.

8. Основным источником вибрации ТЭД в частотном диапазоне 200-600 Гц являются периодические возбуждения, овязанные с работой тяговой зубчатой передачи. Уровень зубцовых вибровозбуждений находится в прямой зависимости от величины отклонения профиля зубьев зубчатых колес от эвольвентного профиля. При наиболее неблагоприятном сочетании в зубчатой передаче изношенной шестерни с предельно изношенным зубчатым колесом величины динамических нагрузок в конструктивных элементах ТЭД в 7...10 раз выше, чем при изношенной передаче.

9. Эксплуатационный износ тяговых зубчатых передач тепловозов, при котором величина отклонения профиля зубьев зубчатого колеса от эвольвентного профиля достигает 0,4 мм, следует считать предельным, по достижении которого профиль должен восстанавливаться путем механической лезвийной обработки при производстве плановых периодических ремонтов тепловозов.

10. Рекомендации диссертации использованы НИИ завода "Электротяжмаш" при создании виброустойчивой конструкции главных полюсов серийных ТЭД типа ЭД118А,Б магистральных тепловозов; рекомендации по восстановлению в эксплуатации эвольвентного профиля зубь-

ев зубчатых колес тяговых передач тепловозов приняты к внедрению МПС.

II. Экономический народнохозяйственный эффект от внедрения рекомендаций составит 736,6 тыс.руб. на годовой выпуск тепловозов.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Авраменко В.С., Измеров О.В., Лысок В.А., Королев С.М. Экспериментальные исследования частот и форм собственных колебаний статора тягового электродвигателя методами спектрального анализа.- В сб.: Динамика и прочность магистральных тепловозов. Труды ВНИТИ, 1984, вып. 60, с.115-122.
2. Авраменко В.С., Лысок В.А., Будняк В.Б. Экспериментальные исследования вибрационного состояния тягового электродвигателя ЭД118А.- В сб.: Динамико-прочностные исследования узлов и агрегатов тепловозов и путевых машин. Труды ВНИТИ, 1982, вып. 55, с.47-52.
3. Авраменко В.С., Будняк В.Б., Голендер В.А., Куценко С.М., Лысок В.А. Об одной особенности колебательной системы остова тягового электродвигателя.- В сб.: Повышение эксплуатационной надежности тепловозов и путевых машин. Труды ВНИТИ, 1983, вып. 58, с.67-70.
4. Авраменко В.С., Лысок В.А., Будняк В.Б. Особенности динамики элементов магнитных систем тяговых электродвигателей.- В сб.: Транспортное машиностроение. М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1984, серия 5, вып. 10, с.4-5.
5. Авраменко В.С., Королев С.М., Лысок В.А. Влияние износа тяговой передачи на динамику колесно-моторного блока.- В сб.: Исследование узлов и агрегатов тепловозов. Труды ВНИТИ, 1980, вып. 52, с.63-68.
6. Авраменко В.С., Каменев Н.Н., Королев С.М., Яшина Л.В. Иссле-

ДНУЖТ

- дование динамического виброн нагружения тяговых электродвигателей тепловозов в условиях эксплуатации. Деп. ЦНИИТЭИМПС
Ю дек. 1980, № 1318/80, М., 1980, с.26-37.
7. Авраменко В.С., Каменев Н.Н., Королев С.М., Яшина Л.В. Экспериментальная оценка динамических свойств тяговых зубчатых передач с различной степенью износа зубьев.- Деп. ЦНИИТЭИМПС
Ю дек. 1980, № 1318/80, М., 1980, с.17-25.
8. Авраменко В.С., Лысак В.А. Динамическая напряженность выводов главных полюсов тяговых электродвигателей типа ЭД107А.- В об.: Транспортное машиностроение. М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1979, № 5-79-18, с.9-10.
9. Лысак В.А., Авраменко В.С. Колебания остовов тяговых электродвигателей тепловозов и электровозов.- В об.: Повышение вибропрочности и эксплуатационной надежности электрооборудования тепловозов, НИИИНФОРМТЯЖМАШ, № 5-82-14, М., 1982, с.14-16.
10. Королев С.М., Добрынин Л.К., Авраменко В.С. Динамические нагрузки на тяговый электродвигатель в эксплуатационных условиях.- В об.: Снижение вибраций силовых агрегатов тепловозов. М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1977, № 5-77-14, с.35-38.
11. Лысак В.А., Авраменко В.С. К вопросу о методике стендовых динамических испытаний тяговых электродвигателей тепловозов с целью оценки прочности их элементов.- В об.: Повышение эксплуатационной надежности тепловозов. Труды ВНИТИ, 1979, вып. 50, с.112-116.
12. Лысак В.А., Авраменко В.С. Виброн нагруженность магнитных систем тяговых электродвигателей.- В об.: Исследование динамики и прочности узлов тепловозов и путевых машин. Труды ВНИТИ, 1981, вып. 53, с.70-75.
13. Добрынин Л.К., Авраменко В.С., Лысак В.А., Королев С.М. Статистический анализ вибрационного состояния тяговых электродвигателей

- телей при опорно-осевом подвешивании.- В об.: Исследование динамики и прочности узлов тепловозов и путевых машин. Труды ВНИТИ, 1981, вып. 53, с.63-69.
14. Каменев Н.Н., Авраменко В.С., Королев С.М., Яшина Л.В. Повышение надежности тяговых передач тепловозов.- Железнодорожный транспорт, 1981, № 5, с.43-46.
15. Будняк В.Б., Куценко С.М., Голендер В.А., Авраменко В.С., Лысок В.А. К вопросу об определении собственных частот и форм колебаний остова тягового двигателя при опорно-осевом подвешивании.- Тезисы Всесоюз. науч.-техн. конф. "Создание локомотивов большой мощности и повышение их технического уровня". /г. Ворошиловград, 13-15 окт. 1981 г. /М., 1981, т. I, с.22.
16. А.С. № 1089446 (СССР). Стенд для испытаний на удар электродвигателей. Авт.: Королев С.М., Кложев А.И., Юренев Н.Н., Лысок В.А., Календарев А.П., Авраменко В.С., Самус В.С.- Оpubл. в Б.И., 1984, № 16.

АВРАМЕНКО Виктор Стефанович

ВИБРАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
ТЕПЛОВОЗОВ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ

05.22.07 - Подвижной состав железных дорог
и тяга поездов.

Август

НТБ
ДНУЖТ

Автореферат...

БТ 70021. Подписано к печати 24.01.86г. Формат 60x84/16.
Бумага писчая. Печать плоская. Усл. печ. л. 1, 16. Тираж 100.
Заказ № 1184. Бесплатно. Городская типография № 3. Днепропетровского областного управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 320000 г. Днепропетровск ул. Серова, 7.

сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ