

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

На правах рукописи

КАПИЦА МИХАИЛ ИВАНОВИЧ

Определение рациональных сроков диагностирования
силовой установки тепловозов с гидروпередачами

Специальность 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

1991

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового
Красного Знамени институте инженеров железнодорожного
транспорта им. М.И. Калинина

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
КУЗНЕЦОВ Тимофей Федорович

Научный консультант: Доктор технических наук, профессор
БОСОВ Аркадий Аркадиевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
ТАРТАКОВСКИЙ Эдуард Давидович
Доктор технических наук, профессор
СТРЕКОЛЬЦОВ Виктор Васильевич

Ведущая организация: Людиновский тепловозостроительный завод

Защита диссертации состоится "31" декабря 1992 г.
в 15.00 ч. на заседании специализированного совета Д II4.07.01
при Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транс-
порта по адресу: 320700 ГСП, г. Днепропетровск, ул. Академика
Лаварина, 2, ауд. 364.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.
Автореферат разослан "21" декабря 1991 г.

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

НТБ
ДНУЖТ

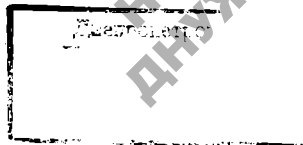
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Опыт эксплуатации тепловозов с гидропередачей показывает, что около 85% неисправностей тепловоза приходится на силовую установку. При проведении всех видов плановых ремонтов производится большое количество разборочно-сборочных операций исправных узлов и агрегатов, что в конечном итоге приводит к снижению их срока службы на 20%. А выпускаемые из ремонта тепловозы имеют большое количество отказов в первые часы и дни эксплуатации. Чтобы решить эти проблемы необходимо создавать и внедрять доремонтную и послеремонтную систему технического диагностирования, которая позволит скорректировать объемы ремонта и оценить его качество.

На Всесоюзном совещании железнодорожников, которое состоялось 5-8 декабря 1989 г. в Москве, отмечалось "... современные средства диагностирования позволяют радикально изменить существующую, во многом устаревшую и неэффективную систему ремонта и технического обслуживания подвижного состава. Всесторонний учет фактического состояния техники даст реальную возможность существенно сократить ремонтные расходы при одновременном повышении качества ремонта и эксплуатационной надежности локомотивов...".

Участники совещания единодушно приняли решение ускоренными темпами разрабатывать и повсеместно внедрять новую систему содержания тягового подвижного состава, основанную на широком применении комплекса диагностических средств, ЭВМ и микропроцессорной техники. Поэтому в настоящее время исследования, направленные на повышение качества ремонта и надежности силовых установок тепловозов с гидропередачей с выбором рациональных сроков проведения диагностирования, являются важными и актуальными.

Диссертационная работа является составной частью исследований, выполненных в ЛИИТе совместно с Людиновским тепловозостроительным заводом, Днепровским металлургическим комбинатом и рядом научно-исследовательских и учебных институтов в соответствии с целевой программой 0.12.15., пункт 7 "Разработать и внедрить универсальную систему технической диагностики (СТД) тепловозов, содержащую встроенное на тепловозе и стационарное устройство", утвержденной постановлением ГКНТ СССР № 301 от 15.07.1982 года, а также с учетом требований технического задания "Система технического диагностирования маневрово-промышленных тепловозов", утвержденного 27.12.1988г. Транспортным управлением МЧМ СССР.



Цель работы заключается в разработке критериев по своевременному проведению технического обслуживания и ремонта силовой установки тепловоза для достижения наиболее экономичной его эксплуатации при установленном уровне надежности и минимальных затратах на восстановление на основе методики определения рациональных сроков диагностирования.

Для достижения поставленной цели автору необходимо было решить следующие задачи:

- произвести анализ методов оценки энергетического состояния силовой установки тепловозов с гидропередачей;
- разработать функциональную схему испытательной станции, а также произвести выбор средств диагностирования дизель-гидравлической установки (ДГСУ);
- разработать способы определения мощности дизеля и гидротрансформатора при нагружении дизеля пусковым ГТР в режиме "выбега" турбинного колеса;
- обосновать и выбрать основные диагностические параметры гидропередачи тепловоза и разработать алгоритм ее диагностирования;
- обосновать и выбрать обобщенный диагностический параметр контроля рабочего процесса дизеля;
- произвести сбор и обработку статистической информации по состоянию ДГСУ с целью изучения влияния процесса диагностирования на интенсивность отказов ДГСУ;
- разработать алгоритм и программу для определения рациональных сроков диагностирования при заданном уровне надежности.

Методы исследования. При решении поставленных задач теоретические исследования проводились с использованием методов технического диагностирования, теории многофакторного эксперимента, корреляционно-регрессионного анализа, математического моделирования, теории восстановления, теории надежности.

Научная новизна.

- Исследовано влияние процесса восстановления на объекты с линейной и кусочно-линейной интенсивностью отказов;
- на основе аксиоматической теории восстановления, разработанной профессором Босовым А.А., предложена методика определения рациональных сроков диагностирования тепловозов при установленном уровне надежности;
- обоснован выбор экономически выгодной степени восстановления объекта на рассматриваемом периоде эксплуатации;

- разработан алгоритм и программа диагностирования гидропередачи, включающий оценку энергетического состояния силовой установки и поиска неисправностей гидропередачи с применением информационно-диагностической системы (ИДС);

- разработана методика диагностирования дизеля по температуре отработавших газов, позволяющая выявлять узлы и системы дизеля, лимитирующие надежность и экономичность силовой установки тепловоза в условиях эксплуатации.

Практическая ценность. Предложенная и внедренная методика доремонтных и послеремонтных диагностических испытаний позволила существенно снизить объемы разборочно-сборочных операций исправных узлов и агрегатов при технических осмотрах и текущих ремонтах, проверить качество ремонта, чем обеспечила экономический эффект, 5,6 тыс. руб. в год на один тепловоз серии ТМ6А. Предложенная методика выбора рациональных сроков диагностирования с учетом экономически выгодной степени восстановления объекта позволяет перейти от традиционной планово-предупредительной системы ТО и ТР к системе содержания подвижного состава по их фактическому техническому состоянию, (по заключению процесса диагностирования) что существенно сокращает ремонтные расходы при одновременном повышении качества ремонта и эксплуатационной надежности локомотивов. Разработанные способы определения мощности дизеля и насосного колеса пускового гидротрансформатора дают возможность произвести оценку технического состояния ДТСУ без демонтажа ее с локомотива. Методика диагностирования дизеля по температуре отработавших газов, позволяет определить его техническое состояние в условиях эксплуатации. Разработанная функциональная схема испытательной станции позволила изготовить и ввести в эксплуатацию станцию технической диагностики для тепловозов с гидропередачей.

Реализация работы. Результаты исследований и расчетов использованы: Людиновским тепловозостроительным заводом при разработке "Технического задания на создание станции испытаний тепловозов с гидропередачей"; локомотивным депо Днепровского металлургического комбината при разработке системы доремонтных и послеремонтных диагностических испытаний маневрово-промышленных тепловозов; Донецким заводом транспортного оборудования (ДЗТО) при разработке инструкции по испытаниям силовой установки тепловозов с гидропередачей; ЦПКБ трансчермет при разработке системы технического диагностирования маневрово-промышленных тепловозов.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены,

обсуждены и одобрены:

- на Всесоюзном научно-техническом совещании "Прогрессивная организация и технология ремонта железнодорожного подвижного состава" (г. Кривой Рог, 1988 г.);
- на Межотраслевой конференции "Проблемы повышения надежности тепловозов" (г. Коломна, 1988 г.);
- на Всесоюзной научно-практической конференции с участием специалистов социалистических стран (г. Москва, 1988 г.);
- на Республиканской конференции "Техническая диагностика и повышение надежности средств транспорта" (г. Ташкент, 1988 г.);
- на Всесоюзной научно-технической конференции "Методы и средства диагностирования технических средств железнодорожного транспорта" (г. Омск, 1989 г.);
- на XVI научно-технической конференции кафедр БелиИЖТа и ДорНТО Белорусской железной дороги "Пути технического перевооружения и модернизации железнодорожного транспорта" (г. Гомель, 1989 г.);
- на научно-технической конференции кафедр института и специалистов железных дорог (г. Днепропетровск, 1990 г.);
- на Всесоюзной межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов (г. Москва, 1990 г.);
- на III Всесоюзной конференции "Проблемы развития локомотивостроения" (г. Луганск, 1990 г.);
- на расширенном научном семинаре кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство" ДИИТа (г. Днепропетровск, 1990, 1991 г.г.).

Публикации. Основное содержание работы изложено в пятнадцати печатных работах и шести отчетах по НИР.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложения на 28 стр. и содержит 106 страниц машинописного текста, 39 рисунков, — фотографий, 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследований и кратко излагаются основные положения диссертационной работы.

В первой главе рассмотрено значение технической диагностики для тепловозов с гидropередачей, выработаны общие требования к диагностированию тепловозов с ГПП, а также выполнен анализ существующих

ских методов испытаний силовой установки тепловозов с гидропередачей. Показано, что значение развития диагностирования тепловозов с ГДП неуклонно увеличивается. Это предопределено объективными тенденциями развития тяжелых отраслей народного хозяйства, сопровождающимися непрерывным увеличением парка тепловозов, расширением их номенклатуры, усложнением и разнообразием конструкций, различием условий и стратегии эксплуатации при ограниченности трудовых ресурсов и производственных сил.

Основная цель диагностирования и прогнозирования состояния тепловозов с ГДП – это повышение эффективности их использования в едином технологическом цикле отрасли.

По принципу единства цели и задачи диагностирования могут быть сгруппированы в три класса:

- конструкторско-технологические и методические, решаемые на этапе создания локомотива;
- по разработке методики диагностирования тепловоза и взаимосвязи диагностирования с объектами использования – системой управления технологическим процессом предприятия, системой технического обслуживания и ремонта;
- по разработке технических средств обеспечения диагностирования в части накопления, обработки и передачи информации.

Две задачи из выше названных автором в работе рассмотрены.

Отмечено также, что полное диагностирование, с одной стороны, практически невозможно, а с другой – экономически неоправдано. Следовательно, рациональные объем и содержание диагностической информации, типы систем должны быть научно обоснованы в каждом конкретном случае.

Большое разнообразие применяемых методов и способов диагностирования объясняется проползающими вот уже более 30 лет поиском наилучших из них, определяющих создание рациональных, компактных, быстродействующих, надежных и долговечных СТД. Сложности теоретических исследований и практических решений привели к тому, что существующие СТД являются в своем роде уникальными.

Значительная часть исследований, выполненных во ВНИИЖТе, МИИТе, ВНИТИ, ЛИИЖТе, ХИИТе, АЛИИТе, СамИИТе, ПромтрансНИИпроекте и ДИИТе под руководством Э.А. Пахомова, В.Л. Кузьмича, И.Ф. Семи-частного, В.В. Стрекопытова, И.Ф. Пущкарева, В.А. Четвергова, А.Э. Симсона, Э.Д. Тартаковского, С.Г. Жалкина, А.А. Чернякова, Е.С. Павловича, Г.Д. Забелина, А.П. Белана, В.Н. Тверитина, М.Л. Коротенко, Т.Ф. Кузнецова и других посвящена вопросам повышения надежности и улучшения работы тепловозов с гидропередачей.

Предложенные ВНИИЖТом и ЛИИЖТом, ХИИТом и ДИИТом методики определения мощности силовой установки основаны на предварительном знании или оценке технического состояния одного из элементов энергетической цепи – дизеля или гидропередачи, т.е. располагая данными о мощности дизеля, производят оценку нагрузочной способности гидропередачи. Зная нагрузочную характеристику гидропередачи определяют мощность дизеля.

Но любая диагностика и технический контроль будут целесообразны в том случае, если они выполнены своевременно и экономически обоснованы.

До настоящего времени вопросу выбора рациональной периодичности диагностирования уделялось недостаточное внимание, что затрудняло планирование сроков проведения испытаний и ремонта тепловоза.

В заключении главы, исходя из актуальности таких задач как, разработка средств диагностирования, оценка энергетического состояния силовой установки и определения рациональных моментов диагностирования, формулируются цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена вопросу разработки средств диагностирования по оценке состояния дизель-гидравлической силовой установки. Для контроля диагностических параметров на СТД применены штатные тепловозные датчики с нормированным выходным сигналом, установка которых предусмотрена на узлах и системах тепловоза, а также специальные устройства, предназначенные для усиления, преобразования и передачи информации.

Использование датчиков различного типа потребовало разработки специальных устройств преобразования и усиления сигналов с учетом требований к точности их преобразования. При решении задач технического диагностирования по статистическому критерию качества исходные данные часто имеют точность 5... 10% и менее. Поэтому нецелесообразно было бы требовать высокую точность измерения устройств комплекса. Исключением являются точность измерения частоты вращения валов узлов и агрегатов тепловоза, к которой предъявляются особые требования.

Для сокращения затрат средств и времени на установку датчиков и подключение измерительных преобразователей в ИДС предусмотрена возможность использования штатных тепловозных датчиков. Разработанные устройства и схемы их согласования с микро-ЭВМ позволили значительно повысить точность измерения диагностических параметров. Для согласования датчиков с устройством передачи информации в ЭВМ

применяются преобразователи, содержащие универсальные усилители-формирователи с переменным коэффициентом усиления, разработанные и изготовленные в ходе проведения исследований и используемые для усиления сигналов от различных типов датчиков, применяющихся в системе.

Логическим завершением выше сказанного стала разработка функциональной схемы СТД, на основании которой был выполнен монтаж испытательной станции для тепловозов с гидропередачей в локомотивном депо Днепровского металлургического комбината. Станция прошла обкатку совместно с тепловозами и функционирует по настоящее время. Функциональная схема станции выполнена таким образом, что позволяет наблюдать изменение параметров физических величин не только с помощью ЭВМ, но и параллельно на цифровом табло центрального пульта. Такое решение вопроса дает возможность использовать СТД не только на заводе-изготовителе тепловозов или локомотиворемонтном заводе, но и в локомотивном депо, не имеющих вычислительных центров и высококвалифицированного обслуживающего персонала по эксплуатации ЭВМ.

Третья глава посвящена оценке энергетического состояния силовой установки тепловозов с гидропередачей.

С энергетической точки зрения силовая установка тепловоза с ГДП представляют собой сложный комплекс агрегатов, состоящих из дизеля и его вспомогательного оборудования и гидродинамической передачи, предназначенной для преобразования энергии вращательного движения вала дизеля в кинетическую энергию потока жидкости, а затем снова в механическую энергию вращения турбинного вала, благодаря которому тепловоз приводится в движение. Поэтому каждый установившийся режим движения тепловоза определяется условиями равенства крутящего момента на валу дизеля и крутящего момента на насосном колесе гидропередачи при соответствующей установившейся частоте вращения.

Теоретически характеристика дизеля соответствует кубической параболе, и называется винтовой характеристикой. В действительности закон изменения мощности, поглощаемой насосным колесом, зависит от конструкции и геометрических размеров как насосного колеса, так и круга циркуляции и может приближаться к закону квадратичной параболы.

Эта характеристика является графическим выражением закономерности изменения параметров, определяющих эффективность и экономичность работы дизеля в зависимости от режима его работы и регулиров-

ки, является также исходным материалом при оценке свойств дизеля в отношении конструкции и технологии производства, а также при определении рациональных условий его эксплуатации.

Но в силу особенности конструкции ДГСУ, непосредственное измерение эффективной мощности дизеля на тепловозах с ГДП невозможно. Поэтому был разработан косвенный способ определения мощности дизеля. По результатам проведенных экспериментальных исследований на контролепригодных тепловозах ТГМБА № 2500 и ТГМБВ № 108 установлено, что с достаточной для условий эксплуатации точностью эффективная мощность дизеля может быть определена по формуле

$$P_e = \frac{t_r^{\circ} \cdot n_d^3}{526,6} \cdot a \cdot k_p \cdot \rho, \quad (1)$$

где

t_r° — средняя температура отработавших газов;
 n_d — частота вращения вала дизеля;
 a — коэффициент мощности;
 $\rho = \frac{P_2}{P_1}$ — коэффициент, учитывающий изменение давления наддувочного воздуха;
 $k_p = \frac{P_2}{P_1}$ — коэффициент, учитывающий изменение среднего максимального давления сгорания топлива по цилиндрам.

Более того, предложенный способ позволяет определить мощность дизеля отдаваемого на привод вспомогательных агрегатов тепловоза.

В основе построения совмещенной характеристики дизеля и гидротрансформатора лежит следующее положение: дизель и гидротрансформатор образуют единую систему, равновесное состояние которой определяется энергетическим балансом $P_g = P_n$, т.е. равенством мощности дизеля (за вычетом мощности, отводимой на вспомогательные нужды) и мощности насосного колеса гидротрансформатора.

Для оценки согласования характеристик дизеля и гидротрансформатора (на рассматриваемом режиме работы силовой установки) необходимо определить мощность, развиваемую дизелем и реализуемую насосным колесом гидротрансформатора. Мощность реализуемую насосным колесом можно определить по формуле

$$P_n = \frac{1}{9,55} \cdot \lambda_n \cdot \gamma \cdot D_a^5 \left(\frac{n_d}{100 \cdot i_{np}} \right)^3 \cdot \frac{1}{2 \eta_p}, \quad (2)$$

но для этого необходимо знать величину λ_n для каждой установившейся частоты вращения. Как видно прямой замер мощности P_n затруднен, то необходимо разрабатывать способы, которые бы позволяли косвенным путем производить расчет мощности P_n

Первый способ. При известной эффективной мощности дизеля определяется коэффициент момента насосного колеса λ_n по следующей формуле

$$\lambda_n = \frac{P_e^{bk}}{8,3 \cdot 10^{-8} \cdot n_g}, \quad (3)$$

а затем по формуле (2) вычисляется мощность P_n

Второй способ расчета мощности P_n основан на определении количества тепла отводимого стационарным охлаждающим устройством от гидropередачи

$$P_n = Q + \sum Q_n \quad (4)$$

где

Q - количество тепла, отводимое стационарным охлаждающим устройством;

$\sum Q_n$ - потери тепла в окружающую среду.

Третий способ расчета мощности основан на замере параметров круга циркуляции пускового ГТР.

В процессе проведенных исследований установлено, что мощность насосного колеса может быть определена по формуле

$$P_n = \frac{T_m \cdot n_n^3}{526,6} \cdot \lambda \cdot a', \quad (5)$$

где

T_m - температура масла в круге циркуляции;

n_n - частота вращения насосного колеса;

$\lambda = \frac{P_n}{P_m}$ - коэффициент, учитывающий изменение давления в круге циркуляции;

a - коэффициент мощности.

По всем способам определения мощности развиваемой дизелем и реализуемой насосным колесом ГТР, с учетом данных, полученных в процессе испытаний контролепригодных тепловозов, построены экспериментальные зависимости, представленные на рис. 1.

Далее появилась возможность выбора основных диагностических параметров, характеризующих техническое состояние гидropередачи на основании выбранной совокупности контролируемых параметров и ранее выполненных исследований по диагностированию гидropередач составлен алгоритм поиска неисправностей с применением ИДС.

Для выявления потерь мощности гидropередачей во время проведения испытаний, выполнен расчет потерь тепловой энергии, который показал, что даже при низких температурах воздуха потери не превы-

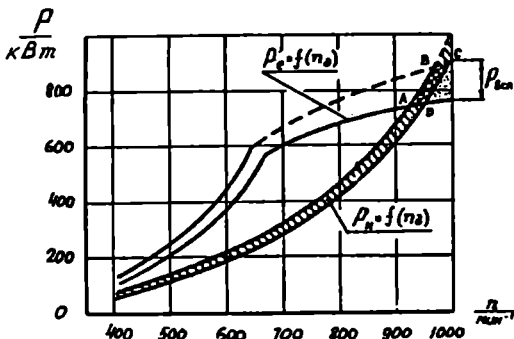


Рис. I

шают 2% от мощности реализуемой насосным колесом.

Четвертая глава посвящена вопросу выбора обобщенного диагностического параметра контроля рабочего процесса дизелей.

Анализ технико-экономических показателей эксплуатации тепловозов с гидропередачей показал, что более 50% трудовых и материальных затрат при устранении порчи и отказов приходится на дизель. В связи с этим и возникает задача своевременного выявления критического состояния узлов и систем дизеля.

Для оценки надежности ЛВС тепловозов с гидропередачей произведен сбор статистической информации, на основании которой выполнены расчеты вероятности безотказной работы узлов и систем дизеля, позволившие установить что наименее надежными являются цилиндропоршневая группа, топливная система высокого давления, система газораспределения и турбокомпрессор.

Таким образом ставится задача своевременного выявления нарушений в протекании рабочего цикла дизеля, а осуществима она по контролю параметров рабочего процесса, таких как: частота вращения коленвала; температура отработавших газов; максимальное давление сгорания топлива; давление наддувочного воздуха и пр.

Но в силу известных причин контроль параметров рабочего процесса, в особенности для дизелей, установленных на тепловозах с гидродинамической передачей в настоящее время затруднен.

Это обстоятельство и приводит к поиску наиболее информативного диагностического параметра, который бы содержал в себе необходимое и достаточное количество информации о техническом состоянии дизеля, в то же время был легко доступен к его определению.

Анализ литературных источников, а также исследования, проведенные в процессе испытаний контролепригодных тепловозов ТТМБА №

2500 и ТГМБВ № 108 позволили сделать вывод о том, что наибольшее количество информации о техническом состоянии дизеля несет в себе температура отработавших газов.

Для получения характера изменения температуры отработавших газов, были смоделированы наиболее часто встречающиеся неисправности тепловозных дизелей типа ЗА-6Д49, а именно: снижение давления подъема иглы форсунки, изменение зазора в гидротолкателях, разрегулировка цикловой подачи топлива ТНВД, разрегулировка угла опережения подачи топлива.

Эксперименты проводились в соответствии с методикой математического планирования многофакторного эксперимента.

Математическая модель исследуемого объекта представлена зависимостью между структурными параметрами вида

$$\bar{y} = f(P_p, \theta, l, q_4, n_d), \quad (6)$$

где P_p — давление подъема иглы форсунки;
 θ — угол опережения подачи топлива;
 l — зазор в гидротолкателях клапанов;
 q_4 — цикловая подача топлива ТНВД;
 n_d — частота вращения вала дизеля.

Так как, зависимость температуры отработавших газов от частоты вращения вала дизеля имеет линейный характер, то рассматриваемое явление опишем неполным уравнением регрессии второго порядка

$$\begin{aligned} \bar{y} = & 578,4 - 19,5X_1 - 20,4X_2 - 78,3X_3 + 53,7X_4 + \\ & + 109,5X_5 + 6,6X_1X_2 - 9,9X_2X_3 + 12,3X_3X_4 + \\ & + 10,8X_3X_5 + 25,2X_4X_5. \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, полученное уравнение регрессии (7) является математической моделью диагностирования дизеля по температуре отработавших газов.

Из анализа уравнения видно, что наиболее существенное влияние на изменение температуры отработавших газов оказывают такие неисправности как: изменение зазора в гидротолкателях клапанов, увеличение цикловой подачи топлива ТНВД, но все же наиболее существенно оказывается на температуре ОГ частота вращения вала дизеля.

Для установления влияния мощности и частоты вращения вала дизеля на температуру ОГ, проведен эксперимент и выполнен регрессионный анализ полученных данных. Математическую модель исследуе-

мого процесса можно представить в виде функциональной зависимости между структурными параметрами

$$\bar{y} = f(P_e, n), \quad (8)$$

где P_e - эффективная мощность дизеля;

n - частота вращения вала дизеля.

С учетом результатов выполненного анализа, получено уравнение регрессии:

$$\bar{y} = 257,5 + 112,5X_1 + 47,5X_2 + 12,5X_1X_2. \quad (9)$$

После раскодирования уравнения (9) и некоторых преобразований получим уравнение для расчета мощности

$$P_e = 440 + 440 \frac{210 \cdot T_r - 47,5 \cdot n - 18925}{12,5 \cdot n + 14375} \quad (10)$$

Таким образом, можно сделать заключение, что связь между температурой отработавших газов T_r и эффективной мощностью дизеля линейная, и поэтому зная температуру отработавших газов T_r на определенной установившейся частоте вращения вала дизеля n можно определить его мощность по уравнению (10).

В пятой главе рассмотрена методика определения рациональных сроков диагностирования ДГСУ.

Практика эксплуатации тепловозов с гидрпередачей показывает, что не только в процессе эксплуатации, но даже и после крупных ремонтов, проведенных в заводских или депоовских условиях, в ДГСУ появляется существенный разброс характеристик и показателей работы.

Основные причины подобного разброса - дисперсия геометрических размеров и физико-механических свойств комплектующих узлов и деталей, надежность гидродинамических параметров комплектующих узлов и деталей и, наконец, различная точность настроек и регулировок ДГСУ.

Вместе с тем существует зона с разбросом по ΔP и Δn , в которой работа дизеля с гидрпередачей будет удовлетворительной. В случае выхода характеристик за эту зону происходит нарушение энергетического баланса $P_g = P_n$, что для рассматриваемого ниже случая можно интерпретировать как "отказ" системы.

Для того чтобы установить интервалы времени, через которые целесообразно проведение диагностических проверок для предупреждения

"отказа" при минимальных затратах средств и времени, необходимо использовать методы математической статистики, теории восстановления и теории надежности.

Для оценки надежности ДГСУ была принята интенсивность отказов $\lambda(t)$ позволяющая определить вероятность безотказной работы ДГСУ в каждый данный момент времени.

С учетом вышеизложенного была собрана и обработана статистическая информация по состоянию силовых установок тепловозов серии ТМБ и ТММ.

В виду того что полученные зависимости $\lambda(t)$ носят неординарный характер было принято решение изучить влияние диагностирования на интенсивность отказов с линейной зависимостью от наработки и кусочно-линейной зависимостью.

В общем случае интенсивность отказа после k -го диагностирования может быть представлена в виде

$$\lambda_k(t) = \lambda_{k-1}(t)P_{k-1}(k\tau) + (1 - P_{k-1}(k\tau))R_{k\tau}^{\vee_k} \lambda_{k-1}(t), \quad (II)$$

где τ - период диагностирования;

$P_{k-1}(k\tau)$ - вероятность безотказной работы за наработку $k\tau$;

$R_{k\tau}$ - оператор восстановления.

Для объектов с линейной интенсивностью отказов $\lambda(t) = 2\alpha t + b$ из уравнения (II) получим

$$\lambda(t; \tau, j) = 2\alpha(t - \tau j [t/\tau]) + b + A_0(1 - e^{-\alpha[t/\tau]}), \quad (I2)$$

где $[t/\tau]$ - целая часть отношения

j - степень восстановления;

$\alpha = 2\alpha\tau^2(1-j)$, а A_0 решение уравнения

$$A_0(e^\alpha - 1) = 2\alpha\tau j \cdot \exp(-(\lambda_0\tau + b\tau - \alpha\tau^2(1-2j))). \quad (I3)$$

Далее рассматривается задача об определении таких моментов диагностирования $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_k$ чтобы для любой наработки $t \in [0, 1]$ интенсивность отказов не превосходила бы заданной величины $\bar{\lambda}$.

Решение этой задачи дается с помощью соотношений

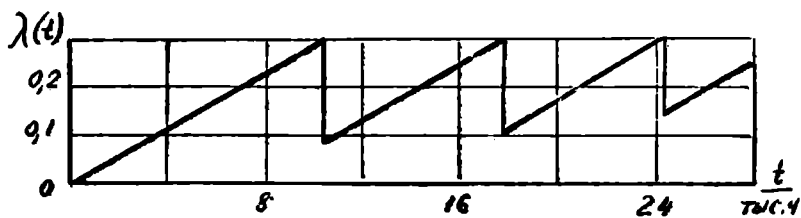
$$\tau_{k+1} = \frac{\bar{\lambda} - b_k}{2\alpha}, \quad (I4)$$

где

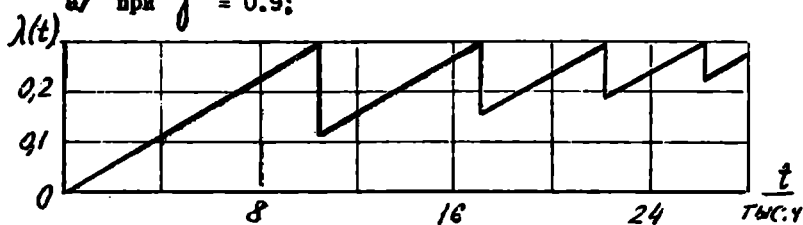
$$b_k = b_{k-1} - 2\alpha\tau_k(\tau_k - \tau_{k-1})(1 - P(\tau_k));$$

НТБ
ДНУЖТ

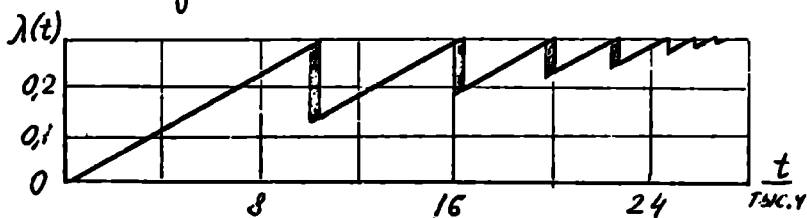
Влияние степени восстановления γ на количество проверок k в наблюдаемом интервале T при ограничении по $\bar{\lambda}$



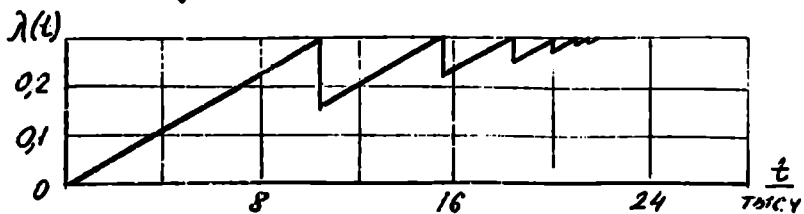
а/ при $\gamma = 0.9$;



б/ при $\gamma = 0.8$;



в/ при $\gamma = 0.7$;



г/ при $\gamma = 0.6$

Рис. 2

НТБ
ДНУЖТ

$$P(\tau_k) = P(\tau_{k-1}) \exp \left\{ -(\alpha(\tau_k^2 - \tau_{k-1}^2) + \beta_{k-1}(\tau_k - \tau_{k-1})) \right\};$$

$$k=0,1,2,\dots \quad \beta_0=0, \quad \tau_0=0; \quad P(0)=1.$$

β_k - степень восстановления соответствующая моменту τ_k
и интенсивность отказов после k -й проверки равна

$$\lambda_k(t) = 2\alpha t + \beta_k. \quad (15)$$

Далее решалась задача о выборе экономически целесообразных моментов τ_k и степеней восстановления β_k , таких, чтобы

$$\lambda(t) \leq \bar{\lambda}; \quad t \in [0, T],$$

а средние затраты на восстановление с учетом диагностирования

$$Z = C_{пр} \cdot n + \sum_{k=1}^n C(\beta_k)(1 - P(\tau_k)), \quad (16)$$

принимали бы минимальные значения.

В формуле (16) $C_{пр}$ - стоимость одной проверки;

$C(\beta_k)$ - стоимость ремонта со степенью восстановления β_k , а такой номер, что $\tau_n \leq T \leq \tau_{n+1}$

Такая практическая задача была решена для парка локомотивов, эксплуатирующихся в локомотивном депо Днепровского металлургического комбината (рис. 2). В качестве T принимался период от ввода в эксплуатацию по ТРЗ. Установлено, что при $\bar{\lambda} = 0,3 \cdot 10^{-3}$ необходимо выполнять четыре проверки при степени восстановления $\beta = 0,7$, тогда затраты на диагностирование и восстановление будут минимальными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. В результате выполненного экспериментально-аналитического исследования, получены следующие результаты:

- предложена и экспериментально проверена методика определения мощности, развиваемой дизелем и реализуемой насосным колесом гидротрансформатора, которая позволяет определять энергетическое состояние дизель-гидравлической силовой установки в рабочем диапазоне изменения нагрузки и частоты вращения вала дизеля;

- определены основные диагностические параметры, составлен алгоритм поиска неисправностей в узлах гидропередачи с применением информационно-диагностической системы;

- изучено влияние на температуру отработавших газов ряда факторов, которые изменяются в процессе эксплуатации дизелей. Опытным путем доказано и получены количественные характеристики этих фак-

торов. Обоснована достаточная чувствительность метода контроля протекания рабочего процесса по температуре отработавших газов.

2. На основании аксиоматической теории восстановления локомотивов и вагонов решены следующие задачи:

- изучено влияние процесса диагностирования на техническое состояние силовой установки тепловозов серии ТГМ6А и ТГМ4; установлено, что при одинаковой степени восстановления надежность ДГСУ тепловозов ТГМ4 значительно выше;

- разработана методика по определению рациональных сроков диагностирования силовой установки, при заданном уровне надежности и экономически выгодной степени восстановления ДГСУ.

3. Предложенная методика выбора рациональных сроков диагностирования позволит перейти от традиционной планово-предупредительной системы ТО и ТР к системе содержания подвижного состава по его фактическому техническому состоянию, (по заключению процесса диагностирования) что существенно сокращает ремонтные расходы при одновременном повышении качества ремонта и эксплуатационной надежности тепловозов.

4. Предложенные в результате выполнения исследований устройства преобразования и усиления сигналов позволили использовать для измерения и регистрации параметров контроля тепловозные датчики, не имеющие нормированного выходного сигнала.

5. Разработанная функциональная схема испытательной станции, позволила изготовить и ввести в эксплуатацию станцию технической диагностики для тепловозов с гидropередачами.

6. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения системы доремонтных и послеремонтных диагностических - испытаний тепловозов с гидropередачами составит 5,6 тыс. руб. на один, за счет:

- сокращения затрат средств и времени на плановых текущих ремонтах на 5%;

- сокращение времени простоя на неплановых ремонтах на 10%;

- сокращение затрат за счет снижения числа отказов по вине эксплуатации на 10%;

- сокращение затрат за счет снижения числа отказов тепловозов по вине завода-изготовителя или завода, выполняющего капитальный ремонт на 20%;

- снижение расхода дизельного топлива за счет своевременной проверки топливной аппаратуры на 5%.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Испытательная станция для тепловозов с гидродинамической передачей/ Кузнецов Т.Ф., Бондарь Б.Е., Ляшук В.М., Чабанюк В.И., Капица М.И., Левковский Н.Ф.//Чер. металлургия. - 1989. - №6. С. 67-68.

2. Применение микро-ЭВМ для испытаний тепловозов с гидropередачей. - В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Методы и средства диагностирования технических средств железнодорожного транспорта". Омск, 1989. С. 75 (в соавторстве).

3. Бондарь Б.Е., Капица М.И., Кузнецов Т.Ф., Ляшук В.М. Исследование движения валов гидropередачи при свободном вращении// Пути повышения надежности и экономичности тепловозов: Межвуз. сб. научн. тр./Днепропетровск: ДИИТ, 1987. С.56-51.

4. Капица М.И., Чабанюк В.И. Применение информационно-диагностической системы для испытаний тепловозов с гидродинамической передачей мощности и управления процессом обкатки дизелей в условиях депо//Повышение надежности эксплуатации и ремонта локомотивов: Межвуз. сб. научн. тр./Днепропетровск: ДИИТ, 1990. С. 37-79.

5. Результаты опытной эксплуатации контролепригодного тепловоза ТГМ6А. - В кн.: Тезисы докладов III Всесоюзной конференции "Проблемы развития локомотивостроения". Луганск, 22-24 мая 1990, С. 187 (в соавторстве).

6. Бондарь Б.Е., Капица М.И., Кузнецов Т.Ф., Ляшук В.М., Чабанюк В.И. Прибор для определения механических примесей в работающем масле/Днепропетр. ин-т. инж. трансп. Днепропетровск, 1989. ИИБ с. Дёп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.06.89, № 4726.

7. Оценка энергетических показателей тепловозов с гидropередачей при стендовых испытаниях. - В кн.: Тезисы докладов III Всесоюзной конференции "Проблемы развития локомотивостроения". Луганск, 22-24 мая 1990. С. 168 (в соавторстве).

8. Информационно-диагностическая система испытания тепловозов с гидродинамической передачей. - В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции с учетом специалистов социалистических стран в г. Москва 7-9 июня 1988г. Москва, 1988. С. 91 (в соавторстве).

9. Т.Ф. Кузнецов, Б.Е. Бондарь, М.И. Капица. Определение мощности дизелей тепловозов с ГДП//Пути повышения надежности и экономичности тепловозов: Межвуз. сб. научн. тр./Днепропетровск: ДИИТ, 1991.

С. 16-18.

10. Информационно-диагностическая система испытаний тепловозов с гидродинамической передачей. - В кн.: Тезисы докладов и выступлений участников республиканской конференции "Техническая диагностика и повышение надежности средств транспорта". Ташкент, 1988. С. II (в соавторстве).

11. Капица М.И., Чабанюк В.И., Колодий Л.В. Оценка неравномерности вращения коленчатого вала дизеля//Повышение надежности эксплуатации и ремонта локомотивов: Межауз. сб. научн. тр./Днепропетровск: ДИИТ, 1990. С. 30-33.

12. Бондарь Б.Е., Капица М.И., Кузнецов Т.Ф., Ляшук В.М., Чабанюк В.И. Оценка состояния цилиндно-поршневой группы и топливной аппаратуры дизеля по неравномерности вращения коленчатого вала/Днепропетр. ин-т. инж. трансп. Днепропетровск, 1989. 117с.: Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.06.89, № 4722.

13. Б.Е. Бондарь, М.И. Капица К определению энергетических параметров тепловозов с гидродинамической передачей//Системы и узлы перспективных тепловозов: Сб. научн. тр./УИИ ВО, Киев, 1990. С. 67-70.

14. Б.Е. Бондарь, М.И. Капица, Л.В. Колодий. Проверка согласования характеристик дизеля и гидropередачи тепловозов серии ТГМ6А//Пути повышения надежности и экономичности тепловозов: Межауз. сб. научн. тр. Днепропетровск: ДИИТ, 1991. С. 18-22.

15. Б.Е. Бондарь, М.И. Капица, Т.Ф. Кузнецов, В.М. Ляшук. Оценка эксплуатационной надежности дизелей тепловозов ТГМ4 и ТГМ6А/Днепропетр. ин-т инж. трансп. Днепропетровск, 1986. 6 с.: Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 31.12.86, № 3581.



НТБ
ДНУЖТ

Капица Михаил Иванович

**Определение рациональных сроков диагностирования
силовой установки тепловозов с гидропередачей**

**Специальность 05.22.07 – Подвижной состав
железных дорог и тяге поездов**

**Подписано к печати 02.12.91. Формат 60х84/16. Бумага для
множительных аппаратов. Печать офсетная. Усл.печ.л.1,2.
Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 100 экз. Заказ 1037. Бесплатно.**

**Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени институт
инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Калинина**

**Адрес института и участка оперативной полиграфии: 320700,
ГСП, Днепропетровск, 10, ул.Акад. В.А.Лазаряна, 2**

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ