

СССР — МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕРТЕЛЬ АРКАДИЙ ИЛЬИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ
ТЕПЛОВОЗОВ И ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ
В ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ**

(Диссертация написана на русском языке)

Специальность 05.22.07 — Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК

1972 г.

ФЕРТЕЛЬ АРКАДИЙ ИЛЬИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ
ТЕПЛОВОЗОВ И ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ
В ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТОДАМИ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

(Диссертация написана на русском языке)

Специальность 05. 22. 07— Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1972 г.

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации инженера А. И. Фертеля.

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв в письменном виде в двух экземплярах, заверенный печатью Вашего учреждения, по адресу:

г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2, ДИИТ.

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта и в лаборатории надежности локомотивного депо Основа Южной ордена Ленина железной дороги.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор *Тверитин В. Н.*

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор *Пойда А. А.*, кандидат технических наук *Лебедев Ю. А.*

Ведущее предприятие — служба локомотивного хозяйства Южной ордена Ленина железной дороги.

Автореферат разослан « *8* » *января* 1973 года.

Защита состоится « *16* » *февраля* 1973 года в 14 часов на заседании Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета факультетов

(*Н. А. КОСТИН*)

В выполнении решений, поставленных XXIV съездом КПСС по росту грузооборота на железнодорожном транспорте, обеспечение и повышение надежности тепловозов в эксплуатации является одной из первоочередных задач локомотивного хозяйства.

В девятой пятилетке железным дорогам будут поставлены мощные тепловозы с секционной мощностью 4000 л. с. и 6000 л. с., перед тепловозостроительной промышленностью поставлена задача на пятилетку повысить конструктивными и технологическими мероприятиями долговечность основных узлов и деталей в 1,5—2 раза. Но как бы ни была совершенна конструкция, без правильного организованного технического обслуживания тепловозов невозможно обеспечить их надежную работу в эксплуатации.

Важной частью решения этой задачи является совершенствование системы ремонтов на базе применения принципиально новых методов технического обслуживания, увеличение наработок тепловозов и их основного оборудования между ремонтами, разработка и внедрение объективных методов контроля технического состояния узлов и агрегатов тепловозов, организация сбора и оперативной обработки информации о надежности тепловозов в эксплуатации. На техническое обслуживание локомотивов затрачивается значительное количество средств локомотивного хозяйства, поэтому снижение затрат на обслуживание при одновременном повышении надежности является актуальным направлением исследований.

Настоящая диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов и предложений.

В **первой главе** дается анализ методов оценки надежности тепловозов в эксплуатации, применяемых при этом количественных характеристик надежности, критериев отказов и предельных состояний. В данной главе проанализированы также существующие в СССР и за рубежом системы сбора и обработки информации о надежности тепловозов и других машин, исследования по повышению надежности машин в эксплуатации методами технического обслуживания.

Техническое обслуживание тепловозов включает в себя комплекс технических и организационных мероприятий для поддер-

жания исправности тепловозов в эксплуатации. Анализ результатов проведенных исследований показывает, что оптимизация плановых ремонтов и техническое диагностирование узлов и деталей, лимитирующих увеличение периодичности плановых ремонтов, является важными составляющими повышения надежности машин в эксплуатации методами технического обслуживания. Главным управлением локомотивного хозяйства МПС (ЦТ МПС), Всесоюзным научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС), рядом ВУЗов и научно-исследовательских институтов разрабатываются методы расчета оптимальных сроков плановых ремонтов и осмотров для отдельных агрегатов локомотива и для локомотива в целом с учетом характеристик их надежности. Однако применяемый в настоящее время на железных дорогах график с жесткими нормативами времени работы или пробега между ремонтами (осмотрами) дает приближенное представление о работоспособности локомотива. Система текущего ремонта машин, как было обосновано Герцбахом И. Б., будет наиболее эффективной, если предупредительный (текущий) ремонт производится не по установленному с жесткой периодичностью графику, а предсказывается по измерительным и статическим прогнозирующим параметрам. Получение таких данных является основной задачей технического обслуживания.

Важной составляющей в организации технического обслуживания тепловозов является также расчет долговечности основных узлов и деталей, лимитирующих эксплуатационную надежность систем тепловоза с целью определения периодичности тяжелых видов ремонта.

Значительные работы по использованию имеющихся в теории надежности показателей для исследования работоспособности тепловозов и созданию систем сбора и обработки информации о надежности тепловозов ведутся ЦТ МПС, ЦНИИ МПС, Всесоюзным научно-исследовательским тепловозным институтом (ВНИТИ), рядом ВУЗов, научно-исследовательских институтов и заводов.

Однако исследователями применяются различные показатели из имеющейся номенклатуры для оценки надежности тепловозов, их систем и элементов, кроме того, рядом авторов принимаются различные критерии отказов и предельных состояний, что приводит к несопоставимости результатов исследований. Разработанные системы сбора и обработки информации о надежности тепловозов полностью не учитывают существующие в МПС первичные формы, в случае изменения которых необходимо затратить значительное количество времени и средств, недостаточно полно используют современные способы оргсвязи и ЭВМ, что снижает оперативность и эффективность информации, не учитывают особенности сбора данных при агрегатном методе ремонта.

Создание системы сбора, обработки и анализа информации о надежности локомотивов с использованием электронно-вычислительной техники и оргсвязи является, согласно приказа Министра путей сообщения, первоочередной задачей по внедрению автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ).

Исходя из этого целями и задачами диссертации являлось:

- обоснование выбора и выбор показателей для оценки надежности тепловозов, их узлов и деталей с целью предложения о включении выбранных показателей в качестве основных технических характеристик в технические условия (ТУ) на поставку и технические задания (ТЗ) на проектирование тепловозов;

- разработка автоматизированной (с использованием ЭВМ и средств оргсвязи) системы сбора, обработки, анализа и накопления информации о надежности тепловозов, их систем и элементов, приспособленной к агрегатному методу ремонта тепловозов на основе существующей первичной документации в МПС;

- экспериментальное исследование надежности тепловозов по разработанной системе с использованием выбранных основных и дополнительных показателей надежности;

- выработка и реализация на основе экспериментального исследования надежности предложений по повышению надежности тепловозов в эксплуатации методами технического обслуживания;

- проведение на основе дифференцированного подхода экспериментального исследования долговечности узлов и деталей тепловозного дизеля и разработка рекомендаций по межремонтным ресурсам дизеля.

Во второй главе приводятся обоснование выбора и выбор показателей для характеристики надежности тепловозов, их основных агрегатов и узлов, а также формулируются критерии отказов и предельных состояний основных систем тепловоза.

Обоснование академиком Гнеденко Б. В. функционального способа выбора показателей надежности и выход в свет общесоюзных стандартных методических указаний МУ-3-69, разработанных Всесоюзным научно-исследовательским институтом стандартизации (ВНИИС), создали возможность для математически обоснованного выбора единой номенклатуры основных нормируемых показателей надежности для тепловозов, их систем и элементов.

Под элементом в исследованиях понималось: деталь, агрегат, сопряжение деталей, узел тепловоза. Под системой — совокупность элементов, предназначенных для выполнения заданных функций. В диссертации тепловоз рассматривался как комплекс, состоящий из четырех основных систем — дизеля (Д), системы передачи мощности (П), экипажа и тормозной системы (Э), и системы вспомогательных механизмов (В).

Согласно МУ-3-69 на выбор номенклатуры показателей надежности влияют факторы: конструктивного решения (ремонтируемость, неремонтируемость), характера и режима использования и последствий отказов. На основании указанного метода был произведен выбор основных нормируемых показателей надежности для тепловоза, его систем и основных элементов тепловоза. Номенклатура выбранных показателей представлена в табл. 1. Обозначения в табл. 1 приведены по ГОСТ 16503—70 «Промышленные изделия. Номенклатура и характеристика основных показателей надежности».

На основании анализа опыта эксплуатации тепловозов при оценке надежности принималась модель процесса восстановления с конечным временем восстановления, которым нельзя пренебречь. В данной ситуации наложения двух потоков — потока отказов с функцией $F(t)$ и плотностью $f(t)$, потока восстановлений с функцией $G(t)$ и плотностью восстановлений $h(t)$ — надежность восстанавливаемой системы наиболее всесторонне выражается коэффициентом готовности $k_r(t)$, который представляет собой вероятность того, что в момент t система будет находиться в исправном состоянии. Эвристический вывод $k_r(t)$ на основании узловой теоремы восстановления привел к виду

$$k_r(t) = 1 - F(t) + \int_0^t [1 - F(t-x)] h(x) dx. \quad (1)$$

В расчетах использовалось, данное Базовским И., стационарное значение K_r , к которому стремится $k_r(t)$ при $t \rightarrow \infty$

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} k_r(t) = \frac{1}{T + T_v} \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dx = \frac{T}{T + T_v}, \quad (2)$$

где T — наработка на отказ

$$T = \int_0^{\infty} [e^{-ht}] dt \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_i; \quad (3)$$

T_v — среднее время восстановления

$$T_v = \int_0^{\infty} [1 - G(t)] dt \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t'_i, \quad (4)$$

N — количество систем, находящихся под наблюдением;

m — количество отказов за рассматриваемый период;

t_i — исправная наработка системы;

t'_i — i -тый простой системы в восстановительном ремонте.

В данной главе были выбраны и сформулированы критерии отказов, предельных состояний и доминирующие факторы оценки последствий отказов для тепловоза и его основных систем.

Однако для того, чтобы с заданным уровнем достоверности определить выбранные показатели надежности и всесторонне

исследовать их, необходимо организовать сбор и обработку информации о надежности тепловозов, их систем и элементов, поэтому в **третьей главе** дано описание разработанной автоматизированной системы сбора обработки, анализа, накопления информации о надежности тепловозов в эксплуатации с использованием электронно-вычислительных машин и телетайпной связи (здесь и далее сокращенно — СОАНИНТ). Основной целью разработанной системы сбора данных о надежности является повышение надежности тепловозов.

Т а б л и ц а 1

Номенклатура основных нормируемых показателей надежности тепловозов, их систем и элементов

Основные нормируемые показатели надежности	Наименование систем и элементов
$T_{\text{ср}}$ $T_{\text{р. сум}}$ $T_{\text{р. г}}$	Цилиндровые гильзы, поршни, поршневые кольца, воздухонагнетатели, вкладыши подшипников коленвала, коленвал и другие детали дизеля и вспомогательного механического оборудования тепловоза, электрические машины
$P(t)$	Диоды, конденсаторы, предохранители сопротивления в электрических цепях тепловоза
$P(t)$ $T_{\text{р. к}}$ $(T_{\text{сл.}})$	АЛС и автостоп, экипаж и тормозная система и ее элементы, контакторы, реле и выключатели электрической системы
$K_{\text{Г}}$ $T_{\text{р. к}}$ $T_{\text{сл}}$	Тепловоз, его системы Д, П, В
$P_{\text{о. з}}(t)$ $T_{\text{р. к}}$	Противоаварийные и защитные системы, аварийная схема возбуждения главного генератора, резервный топливоподкачивающий насос, система пожаротушения

Система разработана с учетом требований ГОСТ'ов 16468—70, 17509—72, 17510—72, 17526—72, отраслевых стандартов по сбору информации и методики Всесоюзного научно-исследовательского института нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ). Система СОАНИНТ включает три вида форм: первичные, формы — накопители информации и формы записи результатов количественного и качественного анализа надежности тепловозов. К первичным формам относятся существующие в МПС формы учета и отчетности по локомотивному хозяйству:

ТУ-28 — книга записи ремонтов локомотивов, ТУ-29 — книга повреждений и неисправностей локомотивов, моторвагонного

подвижного состава и их оборудования, ТУ-152 — журнал технического состояния тепловоза, наряд-ситуация депо, настольный журнал дежурного по депо — ТУ-1, книга внеплановых ремонтов, ТУ-27 — книга регистрации ремонтов, профилактических осмотров и учета пробега локомотивов, книга передачи смен приемщиков локомотивов, ТУ-148 — результаты реостатных испытаний тепловозов и другие формы типа ТУ, ТО, ТХО о расходе топлива и масла.

К формам — накопителям в системе СОАНИТ относятся: картотека, карточки инженерной надежности, форма по учету работы тепловозов и их систем.

В картотеке по каждой секции тепловоза фиксируются все отказы узлов и деталей. В колонках таблиц картотеки против наименования и номера детали проставляется характер отказа двухзначным кодом. Код составлен на основании анализа эксплуатации тепловоза за продолжительный период и соответствует ГОСТу 17526—72. В картотеке по каждому отказу отражается в зашифрованном виде: какая деталь установлена взамен отказавшей (отремонтированная, новая — производства ЦТВР или заводов-изготовителей) и ее номер; предполагаемая причина отказа, реализованные ранее корректировочные меры по предупреждению причин отказов, пробег отказавшей детали от постановки на тепловоз до отказа, от тяжелых видов ремонта до отказа; вид ремонта, на котором устраняется отказ и устанавливается новая деталь. Таблицы хранятся в ячейках картотеки, ячейки отводятся для каждого тепловоза, находящегося под наблюдением. При перестановке агрегатов тепловоза (дизеля, электрических машин и др.) таблицы картотеки перекладываются с одного номера тепловоза на другой с фиксацией даты и пробега агрегата на момент перестановки. Картотека несложна в заполнении и предельно компактна.

Карточки инженерной надежности отражают «физику» отказов, косвенные факторы, влияющие на отказ, трудоемкость и стоимость восстановления. В форме по учету работы тепловозов отражаются все виды операций, проводимые с тепловозом: работа, ремонт, ожидание работы, ожидание ремонта, модернизация и т. д. с указанием времени и причины простоя в зашифрованном виде.

Формы записи результатов анализа надежности содержат отчетные данные по результатам обработки информации.

В системе СОАНИТ применяются различные планы наблюдений, с математическим обоснованием объема минимальной выборки.

Информация по формам — накопителям, согласно разработанной схеме, передается из опорного пункта СОАНИТ в вычислительные центры (ВЦ) железных дорог, из ВЦ по окончанию планов наблюдений в обработанном виде через ВЦ МПС в головную организацию по сбору и обработке информации

ЦТ МПС, из головной организации через ВЦ МПС на заводы-изготовители и ремонтные заводы (рис. 1). Передача информации может производиться на телетайпах, для чего разработаны макеты передачи информации и ввода в ЭВМ. Код передачи М-2 по ГОСТ 15101-69.

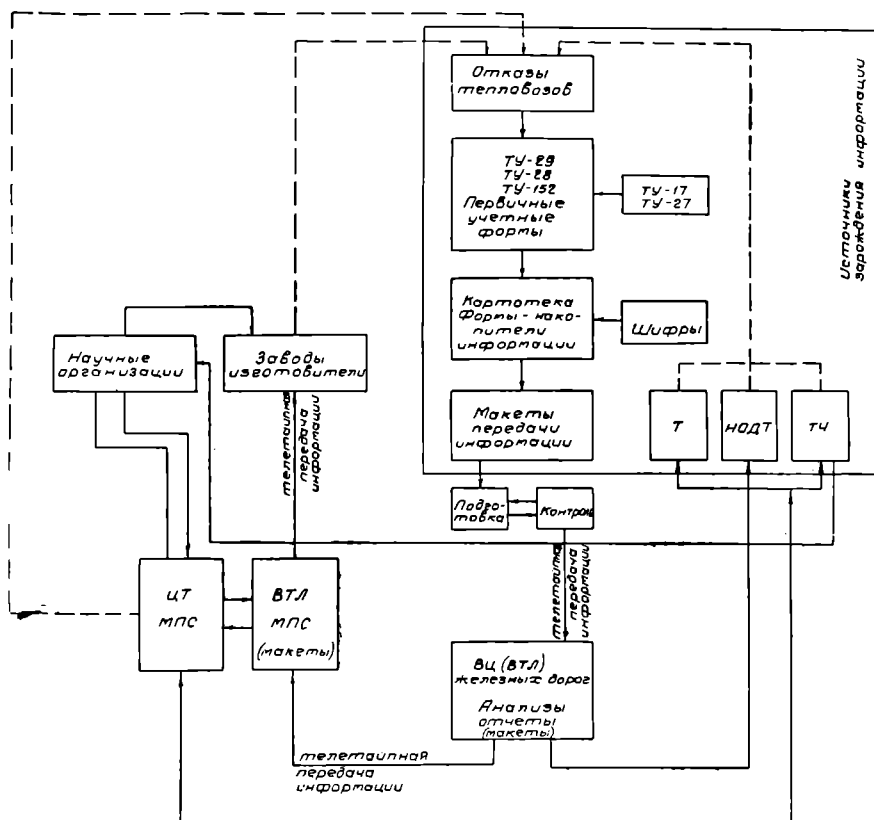


Рис. 1. Принципиальная схема СОАНИТ.

— — — корректирующие воздействия на отказы.

Обработка информации по формам-накопителям состоит из следующих этапов:

- 1) первичная обработка информации на выпадающие значения с помощью критерия Грэббса;
- 2) определение законов распределения случайных величин (при этом за случайную величину принимается наработка до отказа, наработка на отказ, ресурс, срок службы, время восстановления, стоимость ремонта и др.);
- 3) оценка параметров законов;
- 4) определение на этой основе точечных оценок показателей надежности и доверительных интервалов; обработка производится

на ЭВМ «Минск-32» по составленной программе на алгоритмическом языке «ALGOL-60».

В программе использовано семь наиболее встречающихся законов распределения — нормальный, логарифмически-нормальный, экспоненциальный, Вейбулла, гамма, бета, равномерный. Проверка вероятности согласия эмпирических законов с теоретическими предусмотрена с помощью критерия Пирсона (χ^2) с вероятностью согласия $P_g(\chi^2) \geq 0,05$.

Разработанная система СОАНИНТ обеспечивает:

выявление деталей, узлов и агрегатов, лимитирующих эксплуатационную надежность тепловозов;

оперативное определение причин возникновения отказов и неисправностей;

установление и периодическую корректировку основных нормируемых показателей надежности тепловозов, их систем и элементов;

получение необходимых данных для оптимизации системы технического обслуживания тепловозов;

определение эффективности всех предшествующих мер по предупреждению причин отказов;

полную историю узлов, деталей и агрегатов тепловозов при существующих агрегатных методах ремонта тепловозов.

В четвертой главе диссертации представлено исследование надежности тепловозов и тепловозных дизелей в эксплуатации по методике СОАНИНТ и, разработанные на этой основе, некоторые способы повышения надежности методами технического обслуживания.

Для экспериментального исследования надежности было поставлено под наблюдение 247 секций тепловозов серий ТЭЗ, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10, ТЭП10, ТЭП10Л разных возрастных групп из парка Южной ордена Ленина железной дороги. Наблюдения проводились с начала эксплуатации тепловозов по 1972 г.

Исследования проводились в нескольких направлениях:

— определение показателей и исследование динамики их изменения для исследуемого парка тепловозов;

— исследование свойств коэффициента готовности индивидуально каждого тепловоза;

— системный подход к оценке надежности тепловозов;

— исследование ремонтпригодности тепловозов.

I. В результате обработки данных наблюдений определены среднегодовые математические ожидания коэффициента готовности ($\bar{K}_r$), наработки на отказ ($\bar{T}$), среднего времени восстановления ($\bar{T}_в$) и коэффициента технического использования ($\bar{K}_{т.и}$) исследуемых серий тепловозов. Наибольшее значение K_r имеют тепловозы ТЭП10Л ($0,994 \div 0,9953$), ТЭП10 ($0,9897 \div 0,9911$), затем ТЭЗ ($0,9122 \div 0,9829$), 2ТЭ10Л ($0,8314 \div 0,8923$), 2ТЭ10 ($0,7774 \div 0,8157$). Однако полученные среднегодовые

значения характеризуют общую готовность к работе эксплуатируемого парка депо в целом.

Для оценки надежности тепловозов в зависимости от их старения, были построены графики изменения K_r , T , T_b для группы контрольных тепловозов серии 2ТЭ10Л. Наблюдения производились с начала эксплуатации, к концу наблюдений тепловозы имели пробег от постройки 1800 тыс. км. Анализ показал, что T с увеличением продолжительности эксплуатации необратимо уменьшается (с 26000 км до 6900 км), T_b необратимо увеличивается (с 17 часов до 46 часов), в связи с этим K_r со старением машин падает. Снижение K_r и рост затрат на техническое обслуживание с увеличением срока службы тепловозов вызывается повышением интенсивности тяжелых по последствиям отказов: трещин рубашек и цилиндрических гильз, отказов тяговых двигателей, главных генераторов, разрушения карданных соединений, отказов гидромфут главных вентиляторов и др. Это объясняется выработкой ресурсов деталей и узлов, установленных заводом-изготовителем, в то время, как ресурсы элементов тепловозов, установленных при ремонтах, имеют более низкие значения.

Экспериментальным расчетом установлено, что закон распределения наработки на отказ тепловозов серии 2ТЭ20Л — экспоненциальный

$$f(T) = \omega e^{-\omega T}. \quad (5)$$

Параметр потока отказов

$$\omega = 0,000132 \text{ 1/км.}$$

II. В процессе экспериментальных исследований получена важная зависимость коэффициента готовности индивидуально каждого тепловоза (секции) от проведения плановых ремонтов: коэффициент готовности при его определении в период между ремонтами, после плановых ремонтов имеет свойство скачкообразно изменяться. Степень снижения K_r и повышения его после плановых ремонтов зависит от срока службы тепловозов и наработки от предыдущих тяжелых видов ремонта (т. е. от прохождения тепловозом различных предельных состояний). Повышение K_r после ремонта или снижение его однозначно характеризует качество выполненного ремонта. Этот процесс хорошо характеризуется коэффициентом восстанавливаемости K_r

$$S = \frac{K_{rp}}{K_{rd}}, \quad (6)$$

где S — коэффициент восстанавливаемости K_r ;

K_{rd} — коэффициент готовности до ремонта;

K_{rp} — коэффициент готовности после ремонта.

Согласно проведенного расчетного исследования среднее значение $\bar{S}$ тепловозов серии 2ТЭ10Л для профилактического

осмотра (M_2) $\bar{S}_{M_2} = 1,4$, малого периодического ремонта (M_3) — $S_{M_3} = 1,19$, большого периодического ремонта (M_4) — $\bar{S}_{M_4} = 0,92$, подъемочного ремонта (M_5) — $\bar{S}_{M_5} = 0,915$. Полученное анализом эксперимента свойство коэффициента готовности позволяет использовать его в качестве одного из прогнозирующих параметров для оптимизации системы плановых ремонтов. Произведенный с помощью K_T анализ показал, что лишь 15,6% профилактических осмотров тепловозов производится своевременно, в 62,5% случаев тепловозы подвергаются M_2 преждевременно, а в 21,9% случаях тепловозам требуется осмотр значительно раньше.

III. С целью определения воздействия систем на уровень надежности тепловоза было проведено специальное расчетное исследование. В результате определено влияние систем на изменение коэффициента готовности тепловоза (в процентном отношении): Д — 79,7%, В — 6,87%, П — 9,59%, Э — 3,84%.

Из приведенного соотношения следует, что доминирующее влияние на изменение коэффициента готовности тепловоза оказывает система — тепловозный дизель.

Произведенный расчет коэффициента отказов — K_0 (ОСТ 24.040.03) основных узлов и деталей тепловозов показал, что узлами, лимитирующими эксплуатационную надежность тепловозов типа ТЭ10, являются: тяговые электродвигатели $K_0 = 0,16897$, топливные форсунки дизеля $K_0 = 0,1322$, рубашки и гильзы цилиндров дизеля $K_0 = 0,12184$, канавочные подшипники коленвала дизеля $K_0 = 0,06283$, турбокомпрессоры $K_0 = 0,04199$, поршневые кольца (с бронзовым пояском) $K_0 = 0,13905$, электрические цепи тепловоза $K_0 = 0,10791$ и др.

IV. На основании изучения технического обслуживания тепловозов установлено, что ремонтпригодность тепловозов зависит от трех факторов: технического проекта; организации ремонта, обслуживания и ремонтного персонала; материально-технического обеспечения.

Изучение затрат времени внепланового ремонта показало, что только 74% времени идет на восстановительный ремонт T_v . Непосредственно T_v тепловоза имеет составляющие: T_{v_1} — установление наличия неисправности; T_{v_2} — отыскание неисправной системы тепловоза; T_{v_3} — отыскание неисправного элемента и установление характера неисправности; T_{v_4} — доставка и подбор по параметрам запчастей; T_{v_5} — устранение неисправностей; T_{v_6} — проверка нормальной работы и регулировка после устранения отказа. В результате проведенных исследований построены распределения в процентном отношении составляющих затрат времени восстановительного ремонта тепловоза. Так, T_{v_6} для системы Д и В оказалось равным 72%, для электрических машин — 65%, для электрических аппаратов и цепей — 30% (рис. 2).

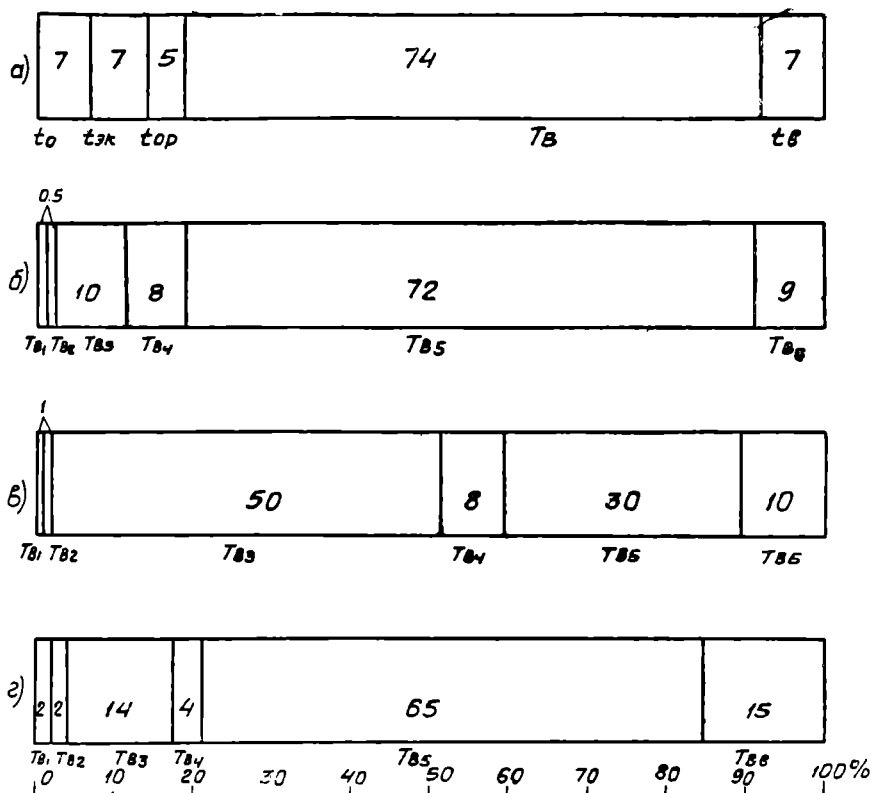


Рис. 2. Распределение поэлементно (в процентном отношении) времени ремонта тепловозов:

- а) график внепланового ремонта тепловоза;
- б) график времени восстановительного ремонта систем Д и В;
- в) график времени восстановительного ремонта системы П (электрические аппараты и цепи);
- г) график времени восстановительного ремонта системы П (электрические машины);
- t_0 — ожидание экипировки;
- $t_{эк}$ — экипировка;
- $t_{ор}$ — ожидание ремонта;
- T_B — время восстановительного ремонта;
- t_B — выдача тепловоза под поезд;
- T_{B1} — установление наличия неисправности;
- T_{B2} — отыскание неисправного участка;
- T_{B3} — отыскание неисправного элемента и установление характера неисправности;
- T_{B4} — доставка и подбор по параметрам запчастей;
- T_{B5} — устранение неисправности;
- T_{B6} — проверка нормальной работы после устранения отказа.

По результатам эксплуатационных наблюдений определены законы распределения времени восстановительных ремонтов.

Для тепловозов серии 2ТЭ10Л закон распределения экспоненциальный

$$f(\tau) = ge^{-g\tau}. \quad (7)$$

Математическое ожидание $\bar{T}_в = 37,45$ час. Для тепловозов серии 2ТЭ10 — гамма-распределение

$$f(\tau) = \frac{1}{C!K^{C+1}} \tau^C e^{-\frac{\tau}{K}} \quad (8)$$

Математическое ожидание $T_в = 17,75$ час. Для тепловозов серии ТЭЗ — распределение Релея

$$f(\tau) = \frac{m}{t_0} e^{-\left(\frac{\tau}{t_0}\right)^2} \quad (9)$$

Математическое ожидание $\bar{T}_в = 31$ час.

Для дизеля 10Д100 закон распределения экспоненциальный

$$f(\tau) = ge^{-g\tau}. \quad (10)$$

Математическое ожидание $\bar{T}_в = 29,13$ часа.

Из проведенного по методике СОАНИНТ экспериментального исследования вытекают следующие основные направления по обеспечению и повышению надежности тепловозов и тепловозных дизелей в эксплуатации методами технического обслуживания:

а) анализ формулы $K_r = \frac{T}{\bar{T} + \bar{T}_в}$ показывает, что повышение наработки на отказ T и снижение времени восстановления $T_в$ ведет к повышению готовности тепловозов к работе;

б) с целью уменьшения времени восстановления тепловозов необходимо по возможности совмещать и максимально уменьшать исследованные составляющие элементы $T_в$;

в) увеличения наработки на отказ T можно достигнуть увеличением ресурсов узлов, деталей и агрегатов тепловозов, подбором периодичности тяжелых видов ремонтов (М4, М5) в соответствии с ресурсами основных элементов с целью предупреждения отказов и приурочивания их к плановым видам ремонтов;

г) на профилактических осмотрах тепловозов типа ТЭ10 производится 29% восстановлений, затраты на указанный осмотр составляют 27,5%. Очевидно, что оптимизация профилактических осмотров с применением технического диагностирования элементов, лимитирующих увеличение периодичности, является одним из путей повышения надежности тепловозов в эксплуатации.

В диссертации проанализированы указанные направления.

1. Анализ гистограмм распределения времени восстановления (τ) тепловозов 2ТЭ10 и 2ТЭ10Л показал, что вероятность попадания значения τ в интервал 0—3 часа $P(\tau) = 0,109$ и $P(\tau) = 0,114$, в интервал 3—6 часов — $P(\tau) = 0,178$ и $P(\tau) = 0,209$ соответственно. Как уже указывалось T_v составляет 74 % от всего времени внепланового ремонта.

В то же время, проведенное экспериментальное исследование показало, что распределение времени ожидания постановки тепловозов на пункт технического осмотра (ПТО) подчиняется закону распределения Вейбулла

$$f_1(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-\frac{t^m}{m}}. \quad (11)$$

С математическим ожиданием $t_{ожэк} = 0,0971$ час.

Распределения времени длительности технического осмотра $t_{то}$ и времени ожидания выдачи тепловоза под поезда $t_{ожкп}$ подчиняются нормальному закону

$$f_{2,3}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

С математическим ожиданием $\bar{t}_{то} = 0,981$ час и $\bar{t}_{ожкп} = 0,697$ час.

Математическое ожидание суммы времен $t_{ожэк}$, $t_{то}$, $t_{ожкп}$ составляет

$$\bar{t}_{сум} = 2,87 \text{ час.}$$

Очевидно, что если на тепловозе появилась неисправность, которая вызовет восстановительный ремонт с непродолжительным простоем, то за счет совмещения времен $t_{ожэк}$, $t_{то}$, $t_{ожкп}$ с составляющими времени восстановления возможно оперативное устранение неисправностей без перечисления тепловоза в неэксплуатируемый парк.

Для реализации совмещения времен необходима точная предварительная информация с участка обслуживания (за 1,5—2 часа) о виде и характере неисправности. С этой целью специальная автоматическая прямая связь депо с машинистами тепловозов была установлена на участках обслуживания Основа — Ворожба — Конотоп, Основа — Брянск.

Внедрение описанного совмещения времен по исследуемому парку сократило количество срывов поездов с графика по отправлению из-за неисправностей локомотивов в 4,9 раза, что повысило коэффициент готовности на $\Delta k_r = 0,0495$.

2. В связи с тем, что профилактический осмотр занимает ведущее место среди текущих ремонтов по денежным затратам и количеству восстановлений, оптимизации периодичности и объема профилактических осмотров по прогнозирующим параметрам является эффективным способом снижения ремонтных расходов.

В результате проведенных в диссертации сравнительных исследований были выбраны прогнозирующие параметры: тонно-километровая работа (QL), выполненная тепловозом, и коэффициент готовности K_r . За основу аналитического способа определения оптимального значения $QL = h$ принималось равенство или кратность (i) наработки на отказ, выраженной в тонно-километровой работе T_{QL} и оптимального значения параметра $h_{опт}$.

$$h_{онм} = \frac{T_{QL}}{i}, \quad (13)$$

где $i = 1, 2, 3$

Выбранная в результате экспериментального исследования зависимости i от K_r , зона оптимального значения параметра $h \div h_{max}$ для тепловозов 2ТЭ10Л составляет $17\,931\,000 \div 21915000$ ткм.

Расчет оптимального критического уровня $K_r(h)$ производился с использованием аппарата марковских переходных процессов.

Эксплуатация тепловозов представлена последовательностью трех возможных состояний:

A_1 — тепловоз работает — единица;

A_2 — тепловоз находится в восстановительном ремонте — нуль;

A_3 — тепловоз находится на плановом ремонте или другом виде простоя — нуль.

Случайный процесс $\delta = A_\xi$ ($\xi = 1, 2, 3$) является полумарковским. Действительно, после перехода в состояние A_ξ (например, с $A_\xi = A_1$) выбор следующего состояния A_j (т. е. A_2 или A_3) и времени перехода в A_j зависит только от A_ξ и A_j и не зависит от течения процесса до перехода в состояние A_j . Процесс описывается матрицей переходных вероятностей P и матрицей переходных распределений F . Они имеют вид

$$P = p(h) = \begin{vmatrix} 0 & P_{12}(h) & P_{13}(h) \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad (14)$$

$$F = F(h) = \begin{vmatrix} 0 & F_{12}(h) & F_{13}(h) \\ G_n(\tau) & 0 & 0 \\ G_n(\tau) & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (15)$$

где $P_{12}, P_{13}, P_{12}, F_{13}$ — вероятность и функции распределения перехода состояния тепловоза из $A_1 \rightarrow A_2$, из $A_1 \rightarrow A_3$;

G_n, G_n — функции распределения времени внепланового и планового ремонта.

Для тепловозов 2ТЭ10Л оптимальный критический уровень K_r оказался равным $K_r(h) = 0,846$. Принцип стратегии М2 по прогнозирующим параметрам следующий. Имеется зона $h \div h_{max}$, если QL тепловоза достигает этого уровня до отказа тепловоза,

производится М2 различного объема в зависимости от значения, который имеет K_r тепловоза. Часть исследуемого парка проходила опытную эксплуатацию по описанному методу. При этом применялись 3 объема М2 со следующими соотношениями трудоемкости: средний — 1,0; полный — 1,34; упрощенный — 0,522. Результаты опытной эксплуатации показали, что оптимизация профилактических осмотров по прогнозирующим параметрам снижает удельные затраты на М2, при этом коэффициент готовности повышается на $\Delta K_r = 0,0883$.

В данной главе приведены алгоритм и блок-схема программы для ЭВМ «Минск-32» планирования постановки тепловозов на М2 по описанному методу.

3. Увеличение межремонтного пробега между М2 лимитируется необходимостью проверок на стенде всего комплекта форсунок дизелей 10Д100 (черт. Д100—17—1 с6) через 5500—6500 км. Основной неисправностью форсунок является отсутствие распыла. Диагностирование форсунок дизеля с целью отбраковки неисправных без снятия с дизеля, а также определение угла опережения впрыска топлива по цилиндрам производилось виброакустическим методом по методике, предложенной доктором технических наук Павловым Б. В. Сигнал вибрации, снимаемый с форсунки датчиком ПДУ-1, поступает в запирающий усилитель — стробатор, затем на записывающие приборы — осциллограф ИО-4 или Н-105. Для выделения полезной составляющей сигнала применялась временная селекция — стробирование (пропускание) импульса в пределах от $8^{\circ}42'$, до $11^{\circ}30'$, угла поворота коленвала до в. м. т. проверяемого цилиндра.

Оценка процесса производилась по изменению прогнозирующего параметра — наличию и месту расположению всплеска вибрации, вызванного ударом ограничителя подъема иглы о щелевой фильтр, относительно в. м. т. соответствующего цилиндра. Сигнал синхронизации, необходимый для стробирования, снимался магнитоэлектрическим датчиком, фиксировавшим прохождение 124 зубьев червячного колеса валоповоротного механизма.

4. В данной главе приводится расчет средних, гамма-процентных и суммарных ресурсов основных узлов и деталей дизеля, как системы оказывающей доминирующее воздействие на надежность тепловоза. Расчет производился по разработанной методике СОАНИНТ на ЭВМ «Минск-32». Всего построено 57 распределений по результатам наблюдений за 19720 деталями. Для правомерности расчета показателей надежности в целом по элементам дизеля без учета отличительных номеров деталей, были построены распределения количества отказов элементов по номерам цилиндров, опорам коленвала и др. Произведенное расчетное исследование показало, что отклонения от среднего значения не превышают $\sigma = 0,02$ для всех узлов и деталей, кроме поршневых колец по номерам канавок и 11 коренного подшипника, которые имеют отклонения значительно выше.

Проведенное в диссертации расчетное исследование долговечности основных узлов и деталей дизеля показало, что общие гистограммы распределения и оценка ресурсов на их основе не отражают фактической долговечности деталей при существующей системе агрегатных ремонтов тепловозов. Использование для сбора и обработки информации методики СОАНИНТ позволило установить, что законы распределения времени безотказной работы и средние ресурсы основных элементов дизеля в значительной мере зависят от вида ремонта, на которых были установлены и такие данные отличаются от соответствующих показателей для элементов, установленных при изготовлении дизелей. Нарботки до отказа деталей, установленных при ремонтах, составляют 16—50% наработок деталей, установленных при изготовлении дизелей (рис. 3). Это хорошо характеризуется значениями коэффициентов восстанавливаемости ресурса

$$K_v = \frac{T_{срi}}{T_{срн. д.}}, \quad (16)$$

где $T_{срi}$ — средняя наработка до отказа деталей установки i -того ремонта;

$T_{срн. д.}$ — средняя наработка деталей, установленных на заводе-изготовителе.

В диссертации подсчитаны значения отношений $\frac{T_p \cdot \gamma}{T_{ср}}$ характеризующие безотказность элементов в начальный период эксплуатации.

Анализ таблиц ресурсов показывает, что наименьшей долговечностью обладают детали цилиндро-поршневой группы деповской установки.

В результате дифференцированного расчета было определено направление повышения надежности дизелей в эксплуатации.

В диссертации показано, что действительные ресурсы исследованных деталей дизелей установки завода-изготовителя отличаются от назначенных ресурсов, значения их имеют большой разброс и не кратны существующей периодичности тяжелых ремонтов — подъемочного и большого периодического.

Для определения эффективности конструкторских мероприятий была определена долговечность:

- бесканавочных шатунных вкладышей, $T_{ср} = 356000$ км;
- чугунных хромированных колец, $T_{ср} = 225830$ км;
- нижних поршней (новая геометрия тронковой части), $T_{ср} = 578000$ км;
- цилиндровых гильз с усиленным адаптерным узлом (52 вариант), $T_{ср} = 680500$ км.

Приведенные значения свидетельствуют о значительном повышении ресурсов узлов, обеспечивающих функционирование дизеля.

Наименован 1	Закон распределения 2	Плотность распределения 3	Показатели (ресурсы в км) 4	Графическое изображение плотностей и распределит 5
Нижние поршни (вариант 3) установлен- ные		Статистическая оценка	Тобщ. = 152000 Тр сум = 426000	
изготовлен- ные детали	нормальные	$f_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	Тр = 220000, $\sigma = 170000$, Тр = 48	
аварийных ремонт	вебулла	$f_2(t) = \frac{m}{t_0} \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}$	Тр = 92700; Кв = 1042	
МЧ, МС	Релея	$f_3(t) = \frac{2t}{t_0^2} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^2}$	Тр = 62000; Кв = 0.35	
всплывающих замекал	экспоненциаль- ный	$f_4(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	Тр = 38500; Кв = 0.174	
Гильзы цилиндров установлен- ные при:		Статистическая оценка	Тобщ. = 290000 Тр сум = 850000	
изготовлен- ные детали	вебулла	$f_1(t) = \frac{m}{t_0} \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}$	Тр = 425000; $\sigma = 344000$, Тр = 98	
МЧ, МС	Логариф нормальные	$f_2(t) = \frac{1}{t \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}$	Тр = 120186; Кв = 0.280	
всплывающих замекал	экспоненци- альный	$f_3(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	Тр = 70800; Кв = 0.167	
Вкладыши коренные, (канавчатые) установлен- ные		Статистическая оценка	Тобщ. = 365500 Тр сум = 603000	
изготовлен- ные детали	Стат. оценка	—	Тр = 420000 $\sigma = 260000$, Тр = 365	
МЧ, МС	Релея	$f_1(t) = \frac{2t}{t_0^2} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^2}$	Тр = 280000 Кв = 0.657	
всплывающих замекал	Собинитов экспоненци- альный	$f_2(t) = \lambda e^{-\lambda(t-t_0)}$	Тр = 100000 Кв = 0.429	
Вкладыши шатунные (канавчатые) установлен- ные при:		Статистическая оценка	Тобщ. = 214000 Тр сум = 350000	
изготовлен- ные детали	Вебулла	$f_1(t) = \frac{m}{t_0} \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}$	Тр = 284500, $\sigma = 227000$, Тр = 0.8	
МЧ, МС	Релея	$f_2(t) = \frac{2t}{t_0^2} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^2}$	Тр = 109500, Кв = 0.344	
Поршневые кольца установлен- ные при:		Статистическая оценка	Тобщ. = 138000 Тр сум комп = 205000 Тр сум масл = 265000	
изготовлен- ные детали (и 2 кольца)	Гамма	$f_1(t) = \frac{1}{\Gamma(k)} t^{k-1} e^{-t}$	Тр = 143000, $\sigma = 64400$, Тр = 0.45	
изготовлен- ные детали (5 и 7 кольца)	Гамма	$f_2(t) = \frac{1}{\Gamma(k)} t^{k-1} e^{-t}$	Тр = 202000, $\sigma = 121000$, Тр = 0.6	
аварийных ремонт	Гамма	$f_3(t) = \frac{1}{\Gamma(k)} t^{k-1} e^{-t}$	Тр = 85640, Кв = 0.658	
аварийных ремонт	Гамма	$f_4(t) = \frac{1}{\Gamma(k)} t^{k-1} e^{-t}$	Тр = 102871, Кв = 0.305	
Т = 80%				

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

Рис. 3.

Полученные экспериментальным расчетом фактические дифференцированные наработки до отказа, гамма — процентные ресурсы основных деталей дизелей 10Д100 и внедрение проанализированных корректирующих мероприятий дают возможность увеличить наработку дизеля до первого большого периодического ремонта до 5000 часов, а периодичность между последующими тяжелыми видами ремонтов М4, М5 — 3750—4250 час.

При внедрении результатов проведенных исследований достигается экономическая эффективность за счет:

1) сокращения непроизводительного простоя и повышения K_r , вызванного совмещением времен $t_{ожэк}$, $t_{то}$, $t_{ожкп}$ с T_b ($\mathcal{E}_I$);

2) оптимизации профилактического осмотра тепловозов ($\mathcal{E}_{II}$);

3) ожидаемой экономии при увеличении наработки дизеля до первого М4 ($\mathcal{E}_{III}$);

4) ожидаемой экономии при увеличении пробега между последующими М4, М5* ($\mathcal{E}_{IV}$).

По проведенным расчетам общий годовой экономический эффект на одну секцию тепловоза равен:

$$\mathcal{E} = (\mathcal{E}_I + \mathcal{E}_{II}) + \mathcal{E}_{IV} = 638 + 905 + 2140 = 1543 + 2140 = 3683 \text{ руб.,}$$

где 1543 руб. — достигнутая эффективность;

2140 руб. — ожидаемый дополнительный эффект.

И, кроме того, разовая экономия $\mathcal{E}_{III} = 1660$ руб. на один дизель.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выполненное исследование показало необходимость повышения надежности тепловозов и тепловозных дизелей в эксплуатации методами технического обслуживания, основанными на теории надежности и теории восстановления за счет организации сбора и оперативной обработки информации о надежности тепловозов, оптимизации плановых ремонтов и технического диагностирования узлов, лимитирующих увеличение периодичности плановых ремонтов, дифференцированного подхода к ресурсам основных узлов и деталей.

2. Разработана и внедряется автоматизированная система сбора, обработки, анализа и накопления информации о надежности тепловозов с использованием ЭВМ и телетайпной связи (СОАНИНТ), которая базируется на действующей в МПС первичной документации без перестройки системы учета и отчетности. Система отвечает всем предъявляемым к ней требованиям: оперативность, регулярность, достоверность, полнота и сопоставимость информации при существующем агрегатном методе ремонта тепловозов; кроме того, система содержит всю историю тепловозов его агрегатов, узлов и деталей с начала их эксплуатации.

3. Система СОАНИНТ при ее внедрении в масштабах МПС и заводов-изготовителей обеспечит эффективно действующую, оперативную прямую и обратную связь между отказами и организациями, которые воздействуют на предупреждение причин отказов, а также выявит эффективность всех мер, направленных на это предупреждение. Внедрение системы явится этапом создания АСУЖТ.

4. Выбранные на основе функционального метода количественные характеристики для оценки надежности тепловозов, их систем и элементов достаточно полно характеризуют надежность указанных изделий. Основные нормируемые показатели рекомендуется включить в технические условия (ТУ) на поставку тепловозов и технические задания (ТЗ) на проектировку тепловозов (оборудования) в качестве основных технических характеристик машин.

5. По разработанной системе СОАНИНТ проведено экспериментальное исследование надежности и составляющих ее свойств безотказности, долговечности и ремонтпригодности исследуемого парка тепловозов.

Экспериментальная оценка надежности тепловозов с помощью выбранных характеристик показала, что изменение коэффициента готовности отдельного тепловоза (секции) в зависимости от плановых ремонтов имеет прогнозирующий характер, определяющий техническое состояние тепловоза. Как показали расчеты коэффициента восстанавливаемости K_r для профилактического осмотра — 1,4, малого периодического ремонта — 1,19, большого периодического ремонта — 0,920, подъемочного ремонта — 0,915.

Наработка на отказ (T), вычисленная для контрольной группы тепловозов, с увеличением продолжительности эксплуатации необратимо уменьшается, среднее время восстановления (T_v) необратимо увеличивается, вследствие чего коэффициент готовности со старением машин падает.

6. На профилактических осмотрах тепловозов типа ТЭ10 устраняется 29% неисправностей, расходы денежных средств на этот вид осмотра составляют 27,2% от затрат на все виды депоовских ремонтов и осмотров. Произведенное исследование показало, что в 62,5% случаев тепловозы подвергаются профилактическому осмотру преждевременно, а в 28,9% случаев тепловозам требуется ремонт значительно раньше. В связи с этим оптимизация профилактических осмотров тепловозов — одна из главных задач технического обслуживания.

7. Разработанный на основе теории восстановления способ оптимизаций периодичности и объема профилактических осмотров тепловозов по прогнозирующим параметрам — тонно-километровой работе и коэффициенту готовности — с целью достижения максимума готовности парка к работе при минимуме затрат является эффективным способом снижения расходов на ремонт с одновременным повышением эксплуатационной надежности

тепловозов. За основу аналитического метода определения оптимального значения прогнозирующего параметра — тонно-километровой работы — принимается равенство или кратность наработки на отказ и оптимального значения самого параметра. Оптимальный критический уровень коэффициента готовности тепловозов 2ТЭ10Л, определенный с помощью аппарата марковских случайных процессов, оказался равным

$$K_r(h) = 0,846.$$

8. Результаты опытной эксплуатации части исследуемого парка тепловозов показали, что оптимизация профилактических осмотров дифференцированных объемов и дифференцированной периодичности по разработанному способу снижает удельные затраты на указанный вид осмотров, при этом коэффициент готовности повышается на $\Delta K_r = 0,0883$.

9. Одним из основных узлов, лимитирующих увеличение периодичности профилактических осмотров тепловозов, является топливная форсунка дизеля. Разработанный и внедренный способ диагностирования топливных форсунок по углу опережения впрыска топлива дает возможность контролировать в цилиндрах дизеля один из основных параметров рабочего процесса и позволяет увеличивать пробег между профилактическими осмотрами тепловозов.

10. Исследование ремонтпригодности тепловозов позволило определить элементы составляющих затрат времени восстановительных ремонтов. Разработка и внедрение метода устранения неисправностей, вызывающих непродолжительный простой, за счет совмещения элементов составляющих время восстановления повысило коэффициент готовности исследуемого парка тепловозов на $\Delta K_r = 0,0495$.

11. Из систем тепловоза доминирующее влияние (79,7%) на уровень надежности тепловоза, определяемый коэффициент готовности, оказывает тепловозный дизель.

12. Значения и законы распределения ресурсов основных узлов и деталей тепловозного дизеля зависят от вида ремонта, на которых они устанавливались и отличаются от соответствующих законов распределения для идентичных узлов и деталей, но установленных при изготовлении дизелей. Нарботки до отказа узлов и деталей, установленных при ремонте, составляют 16—50% наработок деталей, установленных при изготовлении дизелей.

13. Полученные экспериментальным расчетом по разработанной методике фактические дифференцированные средние и гамма-процентные ресурсы основных узлов и деталей тепловозных дизелей 10Д100 позволяют рекомендовать увеличение наработки дизеля до первого большого периодического ремонта и увеличения периодичности последующих тяжелых видов ремонтов при применении всех проанализированных в настоящем исследовании мероприятий по повышению долговечности.

14. Разработанные в диссертационной работе методы исследования и повышения надежности в эксплуатации техническим обслуживанием применимы для любых тепловозов и тепловозных дизелей.

Внедрение рекомендаций работы в настоящее время обеспечивает сокращение эксплуатационных расходов в локомотивном депо Основа Южной железной дороги при пересчете на секцию тепловоза — 1543 руб. в год, реализация всех рекомендаций настоящего исследования принесет годовой эффект на одну секцию равный 3683 руб. и, кроме того, разовый экономический эффект за счет увеличения наработки дизелей до первого большого периодического ремонта, на один дизель — 1660 руб.

Диссертационная работа содержит 136 страниц текста, 57 рисунков и 3 приложения. Перечень литературы состоит из 97 наименований.

СПИСОК РАБОТ АВТОРА, ОТРАЖАЮЩИХ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Оценка надежности тепловозов (в соавторстве) «Железнодорожный транспорт», 1970, № 6.

2. Повышение срока службы цилиндро-поршневой группы (в соавторстве) «Электрическая и тепловозная тяга», 1970, № 9.

3. Ресурсы основных деталей тепловозов типа ТЭ10 (в соавторстве) ДЦНТИ Южной железной дороги. Харьков, 1971.

4. Законы распределения показателей долговечности деталей дизелей в эксплуатации (в соавторстве) «Энергомашиностроение», 1972, № 2.

5. Использование показателей коэффициента готовности и ресурса для исследования надежности тепловозов в эксплуатации. Труды ДИИТ'а, вып. 137, Днепропетровск, 1971.

6. Оптимальные сроки службы и моторесурс агрегатов и деталей тепловозов (в соавторстве) «Железнодорожный транспорт», 1972, № 6.

Материалы диссертации докладывались на:

— четвертом и пятом координационных совещаниях служб эксплуатационной надежности заводов тепловозостроения и путевого машиностроения: г. Калуга, 1969 г., г. Муром, 1971 г.

— всесоюзный научно-технической конференции НТО «Машпром», посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина, «Пути улучшения технико-экономических показателей дизелей и доведение их до уровня мировых стандартов» (с опубликованием тезисов), г. Харьков, 1969 г.

— третьем отраслевом совещании служб надежности дизель-строительных заводов (с опубликованием материалов), г. Коломна, 1970 г.

— всесоюзной конференции «Пути дальнейшего повышения надежности локомотивов и моторвагонного подвижного состава», г. Москва, ВДНХ, июль, 1972 г.

БЦ 22353. 11/XII 1972 г. Зак. № 2-2089. Тираж 190. Печ. л. 1,25, уч.-изд. л. 1,1. Формат 60×90^{1/16}. Типоофсетная фабрика «Коммунист» Государственного комитета Совета Министров УССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Харьков, ул. Энгельса 11.

Сканировала Семенова Т.Л.