



МПС — СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ

ЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

ХМЕЛЬНИЦКИЙ Евгений Дмитриевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
СИСТЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ
ВАГОНОВ

Специальность 05.22.07

Подвижной состав и тяга поездов

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

г. Днепропетровск
1975

НТБ
днужт

МПС - СССР
ДНІПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА імені М.І.КАЛІНІНА

На правах рукописи

Хмельницкий Евгений Дмитриевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
СИСТЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

674/Ра

Специальность 05.22.07

Подвижной состав и тяга поездов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

г. Днепропетровск
1975
ДАКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

НТБ
Днізгт

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени и Днепропетровском имени М.И.Калинина институтах инженеров железнодорожного транспорта.

Статистические исследования проведены на Восточном, Южном, Среднеазиатском вагонных участках Московской ордена Ленина железной дороги и вагонном депо станции Днепропетровск Приднепровской ордена Ленина железной дороги.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
профессор В.Е.Доценко.

Научный консультант - кандидат технических наук,
доцент А.А.Боссов.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, заведующий сектором вагонного хозяйства ЦНИИ МПС В.И.Гридишко;

кандидат технических наук, доцент Д.А.Курасов.

Ведущее предприятие - Дирекция международных и туристских перевозок (ДМТП) Московской железной дороги.

Автореферат разослан "10" сентября 1975 г.

Зашита диссертации состоится "___" октября 1975 г.

в 14 часов на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина (320069, г. Днепропетровск-10, ул. Университетская,2, ДИИТ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,
доцент

В. Н. Плахотник

НТВ
Дніпро

Современный этап развития железнодорожных пассажирских перевозок характеризуется все возрастающей интенсивностью. В соответствии с решениями XXIV съезда КПСС объем пассажирских перевозок в 1975г. возрастет до 330 млрд. пассажиро-км. Пассажирские вагоны последних лет постройки имеют люминесцентное освещение, электрическое отопление и вентиляцию, охладительную установку и установку кондиционирования воздуха. Увеличение мощности потребителей вызвало усиление системы электроснабжения вагона, усложнились схемы управления, регулирования и распределительное устройство электрооборудования пассажирского вагона. Однако система текущего содержания и уровень ремонтной базы вагоноремонтных предприятий не соответствуют возрастающим требованиям, которые предъявляет электрооборудование нового типа. Несовершенство системы содержания проявилось в том, что увеличилось количество отказов электрооборудования, снизилась пожаробезопасность, возросли затраты на текущее содержание пассажирских вагонов.

Приказ МПС № 36/Ц от 13 августа 1971 г. "О дальнейшем совершенствовании организации ремонта и технического содержания вагонов" имел большое значение для повышения эффективности использования вагонного парка, улучшения его технического состояния и развития ремонтной базы вагоноремонтных предприятий. Тем не менее, вопрос совершенствования системы содержания электрооборудования пассажирских вагонов остается актуальным. Слишком велико количество внеплановых ремонтов электрооборудования и привода подвагонных генераторов, о недостаточном качестве периодических ремонтов свидетельствует повышенное количество отказов в первый месяц эксплуатации. Нельзя считать нормальным и тот факт, что на текущих ремонтах выполняются работы по замене подшипников, обмоток и проточек коллекторов электрических машин, т.е. фактически

НПЗ
Днужт

продолжается плановый ремонт в условиях эксплуатации.

При принятой системе содержания пассажирский вагон в период от постройки до заводского ремонта или между заводскими ремонтами проходит три деповских ремонта. Однако имеющаяся техническая документация по ремонту электрооборудования не содержит какой-либо дифференциации, а ориентирует на выполнение в полном объеме ремонта всех элементов на каждом периодическом ремонте. Это приводит к снижению качества ремонта электрооборудования в целом, неиспользованию ресурса одних и не полной степени восстановления других узлов. В итоге – неоправданное завышение затрат на содержание электрооборудования, так стоимость деповского ремонта электрооборудования составляет около 20 % от стоимости указанного ремонта всего пассажирского вагона.

Таким образом, в свете поставленных перед железнодорожным транспортом задач по увеличению объема и снижению себестоимости перевозок необходимо разработать комплекс мер по совершенствованию текущего оболуживания и ремонта электрооборудования вагонов, что и послужило причиной выполнения настоящей работы.

Цель работы. Диссертационная работа посвящена совершенствованию системы содержания электрооборудования пассажирских вагонов и включает в себя следующие вопросы:

определение количественных показателей безотказности и ремонтопригодности основных систем на основе статистических данных с текущих безотцепочных ремонтах электрооборудования пассажирских вагонов, разработка алгоритмов и машинных программ обработки информации;

качественная и количественная оценка потоков отказов электрооборудования для разработки практических рекомендаций по повышению его эксплуатационной надежности;

НТБ
Дніжукт

разработка методики определения оптимальных периодичностей частичных и полных восстановлений электрооборудования;

разработка методики определения рациональных объемов текущих осмотров и ремонтов электрооборудования с учетом существующих периодичностей обслуживания пассажирских вагонов, создание алгоритма и программы для выполнения требуемых расчетов на ЭЦВМ.

Научная новизна. В диссертации выбрана математическая модель и на ее основе определена интенсивность потоков отказов основных систем электрооборудования исследуемых типов пассажирских вагонов.

Разработан алгоритм и машинная программа решения интегрального уравнения Вольтерра второго рода.

Усовершенствована методика расчета оптимальной периодичности предупредительных ремонтов с учетом степени восстановления элементов электрооборудования путем введения стоимости устранения отказов в зависимости от пробега пассажирского вагона.

Теоретически обоснована и реализована методика определения объемов текущих осмотров и ремонтов, которая использует информацию о потоке отказов электрооборудования без ее предварительной обработки.

Практическая полезность. Впервые определены количественные значения показателей безотказности и ремонтопригодности, что позволяет судить о достигнутом уровне надежности электрооборудования. Показатели безотказности, рассчитанные для электрооборудования вагонов эксплуатирующихся после постройки, могут быть использованы для установления величины гарантийной наработки.

Алгоритм и программа решения уравнения восстановления используются для обработки статистических данных по надежности узлов пассажирских вагонов в Калининском филиале ВНИИ вагоностроения.

НТВ
Днужт

Для вагонного участка Восточного направления ДМТП Московской железной дороги по предложенной методике рассчитаны периодичности технической ревизии и деповского ремонта электрооборудования, разработаны дифференцированные объемы деповских ремонтов электрооборудования пассажирских вагонов типов ЦМВО-66 (система электроснабжения ЭВ-7) и ЦМВК (система электроснабжения 47-Д). Указанная методика применима для расчета периодичностей и объемов ремонта как электрического, так и механического оборудования пассажирских вагонов для любых направлений при известных параметрах потока отказов и заданных нормативах по вероятности безотказной работы.

Внедрение дифференцированных объемов деповских ремонтов позволит рационально использовать ресурсы элементов, повысит безотказность электрооборудования в межремонтные периоды и снизит затраты на содержание пассажирских вагонов. Предложения по изменению объемов ремонта одобрены ведущим предприятием, рассмотрены на НТС Вагонной службы Приднепровской железной дороги и рекомендованы для внедрения.

Общий экономический эффект результатов работы может быть оценен величиной порядка 14000 руб. в год на 100 вагонов пассажирского парка.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 3 статьи, в процессе выполнения работы результаты докладывались и обсуждались на различных конференциях и совещаниях (указаны в заключительной части автореферата).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и выводов. Текстовая часть содержит 130 стр., таблиц 15, иллюстраций 23, библ.источников 108, приложений 37 стр.

НТБ
Днужт

Первая глава содержит обзор исследований по надежности электрооборудования и анализ системы содержания электрооборудования и привода подвагонного генератора пассажирских вагонов. Кроме этого, рассмотрены вопросы методики организации исследований и выбран показатель учета наработки электрооборудования вагона.

Большие работы по определению показателей надежности пассажирских вагонов в целом и отдельных его систем проводятся Калининским филиалом Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения. Основными направлениями исследований Московского института железнодорожного транспорта являются: разработка новых конструкций и повышение эксплуатационной надежности существующих регуляторов напряжения, совершенствование распределительных сетей вагонов, повышение пожарной безопасности в пассажирских вагонах. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта проводятся комплексные исследования по совершенствованию технологии ремонта пассажирских вагонов, разрабатываются оптимальные режимы работы отдельных узлов электрооборудования. Ростовским институтом железнодорожного транспорта совместно с Новороссийским вагоноремонтным заводом выполнены работы по созданию методических положений исследования надежности устройств автоматического регулирования. Определенный объем работ по исследованию надежности электрооборудования выполнен на Рижском электромашиностроительном заводе, Калининском вагоностроительном заводе (КВЗ), сотрудниками Главного Управления вагонного хозяйства (ЦВ МПС) и отдела надежности проектно-конструкторского бюро ЦВ МПС.

Проведенный обзор показывает, что относительно мало внимания уделяется применению вероятностно-статистических методов для

НТВ
Днужт

анализа работы электрооборудования. До настоящего времени не определены количественные показатели надежности электрооборудования с учетом отказов, устраниемых на безотцепочных ремонтах пассажирского вагона, ввиду отсутствия требуемых статистических данных. Недостаточно внимания уделяется исследованию и совершенствованию системы содержания электрооборудования, отсутствуют методические разработки по определению периодичностей профилактического обслуживания и объемов ремонта.

Методика исследования. В соответствии с принятой методикой вагонный парк разбивался на "возрастные" группы, которые комплектовались в зависимости от количества деповских ремонтов, пропущенных вагоном после постройки. Это позволило сократить период исследования и получить показатели надежности за весь ремонтный цикл в течение двух лет. В качестве объекта исследования взяты пассажирские вагоны:

- открытый типа ЦМВО-66, система электроснабжения ЭВ-7 (генератор переменного тока), постройки КВЗ;
- купированный типа ЦМВК, система электроснабжения 47-Д (генератор постоянного тока), постройки ГДР.

Указанные типы вагонов составляют значительную часть отечественного парка, к тому же система электроснабжения ЭВ-7 принята МПС в качестве унифицированной для вагонов без кондиционирования воздуха. Количество "возрастных" групп по четыре для каждого типа вагонов, объем групп в пределах 52-70 вагонов, наблюдения производились по плану $\lceil N, R \rceil T \rfloor$. Выбор показателей надежности сделан на основе отраслевого стандарта ОСТ 24.050.II. Статистические данные, полученные для поездов обращающихся на Восточном участке, обрабатывались как расчетные, данные других направлений использованы в качестве сравнения.

НТБ
документ

Восточный участок принят за основной, т.к. здесь наиболее сложные климатические условия и наибольшие периоды между техническими осмотрами ТО-2.

При исследовании системы содержания и оценки ее влияния на работу электрооборудования принято допущение, что технический осмотр ТО-1, выполняемый ежедневно в пути следования, не влияет на степень восстановления элементов в межремонтный период. Считается, что на техническом осмотре ТО-2 и технической ревизии производится частичное восстановление электрооборудования, а полное восстановление - на деповском ремонте.

В реферируемой работе рассматриваются три возможные состояния элементов электрооборудования: исправное, неисправное и состояние отказа. Под неисправностью (частичным отказом) понимаем событие, когда вырабатываемая электрическая энергия по качеству не соответствует требованию технических условий или нарушается нормальная работа потребителей. Особенность исследования является то, что в выборке взяты пассажирские вагоны с коэффициентом использования по времени $0,85 + 1,0$. в течение межремонтного периода. В результате исследования корреляционной зависимости между календарным сроком службы и временем до отказа в электрооборудовании установлено убывание тесноты связи между указанными параметрами, поэтому за измерительную наработку принят пробег вагона.

За период исследования в электрооборудовании ЭВ-7 зарегистрированы 1804 отказа и неисправности, в т.ч. в системе электрообогревания - 626; для электрооборудования 47-Д соответственно - 1911 и 934. Алгоритмы и машинные программы обработки информации разрабатывались применительно к малым ЭЦВМ типа "Найри".

Вторая глава содержит анализ потока отказов и расчет показателей безотказности и ремонтопригодности основных систем электро-

НИИ
днужт

оборудования вагонов. В качестве основных систем для исследуемых типов вагонов взяты системы электроснабжения, люминесцентного освещения и вентиляции.

Выбор математической модели произведен на основе анализа свойств реального потока отказов: одинарности, стационарности и последействия. Наличие свойства стационарности, а также допущение о полном отсутствии последействия в потоке отказов существенно упрощают статистическую модель случайного процесса, однако на практике такие упрощения дают математическую модель слишком далекую от описания реального процесса. Как показали исследования, потоки отказов электрооборудования имеют сложную структуру, обусловленную его конструктивной особенностью, условиями работы и качеством ремонта.

Установление зависимости между характеристиками надежности и характеристиками случайных потоков событий – это важный момент обработки статистической информации. Для этой цели в работе использовалось уравнение восстановления, которое определяет связь параметра потока отказов с плотностью распределения (уравнение Больтерра второго рода):

$$f_{R+I}(t) = \omega(t) - \int_0^t \omega(x) \cdot f_k(t-x) \cdot dx \quad (I)$$

Алгоритм решения уравнения (I) с использованием метода последовательных приближений подробно описан в работах И.А.Рябинина. Согласно указанного алгоритма интегрирование заменяется суммированием по правилу трапеций, а на каждом шаге последовательного приближения используется вся совокупность дискретных значений, задающих функцию $f_k(t)$. В этом случае на каждом приближении погрешность определенных значений функции $f_k(t)$ увеличивает-

НТБ
Днужт

погрешность последующих точек, что существенно замедляет процесс сходимости.

Учитывая недостатки известного алгоритма, был разработан алгоритм пошагового решения уравнения (1), согласно которому последовательные вычисления выполняются отдельно для каждой точки функции $f_K(t)$. Запишем интегральное уравнение (1) в дискретной форме:

$$f_{K+1}(n \cdot \Delta t) = \omega(n \cdot \Delta t) - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \left\{ \omega(i \cdot \Delta t) \cdot f_K[(n-i) \cdot \Delta t] \right\} \quad (2)$$

где

$$f_K[(n-i) \cdot \Delta t] = \begin{cases} f_K[(n-i) \cdot \Delta t] & \text{при } i = 0 \\ 2f_K[(n-i) \cdot \Delta t] & \text{при } i = 1, 2, \dots, (n-1) \end{cases}$$

Здесь n – порядковый номер точки функции $f_K(t)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N$

Анализ показывает, что на каждом шаге вычисления решение уравнения (2) сводится к отысканию одного неизвестного $f_K(n \cdot \Delta t)$:

$$f_{K+1}(n \cdot \Delta t) = \omega(n \cdot \Delta t) - \frac{\Delta t}{2} [S_n + \omega(0) \cdot f_K(n \cdot \Delta t)] \quad (3)$$

Для удобства вычислений выделим в уравнении (3) постоянную составляющую:

$$f_{K+1}(n \cdot \Delta t) = A_n - \frac{\Delta t}{2} \omega(0) \cdot f_K(n \cdot \Delta t) \quad (4)$$

где $A_n = \omega(n \cdot \Delta t) - S_n \cdot \frac{\Delta t}{2}$.

$S_n = \{\bar{\Omega}, \tilde{F}\}$ – скалярное произведение векторов,

$$\bar{\Omega} = [2\omega(n \cdot \Delta t), \dots, 2\omega(2 \cdot \Delta t), \omega(\Delta t)]$$

$$\tilde{F} = [f(0), f(\Delta t), \dots, f[(n-1) \cdot \Delta t]]$$

Поскольку

$$\lim_{K \rightarrow \infty} f_{K+1}(n \cdot \Delta t) = \lim_{K \rightarrow \infty} f_K(n \cdot \Delta t) = f(n \cdot \Delta t),$$

НТБ
документ

то из уравнения (4) получаем окончательную формулу, не использую-
щую метода последовательных приближений

$$f(n \cdot \Delta t) = \frac{A_n}{1 + \frac{\Delta t}{2} \cdot \omega(0)} \quad (5)$$

Отметим, что аналогичная формула приведена у В.Фаллера для дискрет-
ного уравнения восстановления. Разработанный алгоритм может быть
использован в других приложениях, требующих решения интеграль-
ного уравнения Вольтерра второго рода. Алгоритм реализован на
ЭЦВМ типа "Найри".

Оценка интенсивности потоков отказов выполнялась в следующем
порядке:

- строилась статистическая функция параметра потока отказов $\omega^*(t)$;
- путем интегрирования последней, получена функция отказов $\Omega^*(t)$;
- по выражению (5) найдена статистическая функция $f^*(t)$;
- в зависимости от принятой гипотезы о характере потока отказов
и вида функций $f^*(t)$ и $\Omega^*(t)$ вычислялась функция ненадеж-
ности $Q^*(t)$.

Исходя из физических явлений в исследуемых устройствах,
условий эксплуатации и ремонта, высказано предположение, что
распределение пробега между отказами в потоках системы электро-
снабжения и системы люминесцентного освещения может быть описано
композицией экспоненциального и усеченного нормального распределе-
ний с плотностью:

$$f(t) = c \lambda e^{-\lambda t} + (1-c) \cdot A \cdot e^{-\frac{(t-\alpha)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

где $A = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot [0,5 + \Phi(\frac{\alpha}{\sigma})]$, $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^z e^{-\frac{u^2}{2}} du$

Для случая $Z > 3$ выражение (6) принимает вид

НТБ
документ

$$f(t) = c\lambda e^{-\lambda t} + \frac{(1-c)}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

где λ - интенсивность внезапных отказов;

c - вероятность появления внезапных отказов;

σ, μ - параметры кривой усеченного нормального распределения, описывающей постепенные отказы.

Распределение пробега между отказами в потоке системы вентиляции может быть описано композицией экспоненциальных распределений с плотностью:

$$f(t) = c\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + (1-c)\lambda_2 e^{-\lambda_2 t} \quad (8)$$

Для проверки согласия теоретических и экспериментальных распределений использовались критерии χ^2 и Колмогорова, результаты склонности удовлетворительные.

Исследованием установлено, что после окончания периода приработки, который четко выражен в потоках всех систем электрооборудования, только в системе вентиляции устанавливается стационарный поток. Потоки отказов систем электроснабжения и линий освещения в интервале пробега 0-300 тыс.км не являются стационарными. Анализ характера потоков в интервале 300-400 тыс.км (конец периода наблюдений) показал, что устанавливающиеся потоки не являются простейшими, т.к. имеют ограниченное последействие. В заключение отметим, что для исследуемых систем на всем интервале 0-400 тыс.км приемлема модель нестационарного пускового потока, несмотря на некоторую погрешность вычислений в пределах указанного промежутка. Для указанных систем электрооборудования в работе вычислены значения среднего ресурса, предотвращающего интеграл от функции интенсивности отказов.

НТБ
Днужт

Таблица I

Но- мер группы	Показатели безотказности			Показатели ремонтопригодности		
	Средний ресурс системы (тыс. км)	Среднее значение наработки на отказ (тыс. км)	Установивше- еся значение параметра потока от- казов $\times 10^{-3}$ (тыс.)	Закон рас- пределения трудозатрат на восстановле- ние	Среднее значение трудоемкости восстановле- ния (чел.-час)	Вероятность восстановле- ния за вре- мя равное 1 час
IП	376	305	3,28	Экспо- ненциаль- ный	1,54	0,727
2П	291	225	4,44		1,61	0,712
3П	284	215	4,65	Эрланга	1,64	0,705
4П	220	183	5,46		1,72	0,687
IК	325	278	3,59	Эрланга	1,72	0,673
2К	253	207	4,83		1,89	0,624
3К	212	175	5,71		2,00	0,595
4К	192	153	6,53		2,17	0,552

Таблица 2

№ пп	Электрооборудование ЭВ-7	Коэффициенты	
		K _p , %	K _o , %
1.	Редуктор привода ТРК	8,3	4,4
2.	Гайка шкива № 100	9,7	7,5
3.	Карданный вал привода	5,3	3,6
4.	Ремни редуктора	1,1	1,8
5.	Катушки возбуждения и обмотки статора	1,4	2,3
6.	Подшипники генератора № 311 и № 309	5,4	6,7
7.	Блок переключения	15,2	18,1
8.	Защитная аппаратура	10,4	7,7
9.	Регулятор напряжения генератора	10,7	9,6
10.	Прочие элементы пульта	4,0	4,6
II.	Штекерные разъемы	10,6	13,2
I2.	Аккумуляторная батарея	7,3	6,5
I3.	Провода, клеммы, предохранители	10,6	14,0
Электрооборудование 47-Д		K _p	K _o
1.	Редуктор привода РК-6	37,9	22,4
2.	Карданный вал привода	7,3	4,3
3.	Траверсный узел генератора с подшипником № 305	11,5	15,6
4.	Якорь генератора	6,5	10,9
5.	Подшипник генератора № 308	2,4	3,7
6.	Катушки возбуждения шунтовые	14,1	15,6
7.	Регулятор напряжения генератора	8,5	10,8
8.	Регулятор напряжения сети освещения	2,2	3,0
9.	Аккумуляторная батарея	3,2	4,1
10.	Провода, клеммы, предохранители	6,4	9,6

НТВ
Днужт

Установлено, что плотность вероятности трудозатрат на вне-плановые безотцепочные ремонты для различных систем электрооборудования может быть описана распределениями Эрланга или экспоненциальным. В таблице I приведены средние значения показателей безотказности и ремонтопригодности систем электроснабжения (буква П - система ЭВ-7, К - система 47-Д).

С целью анализа эффективности проведения осмотра ТО-2 предлагается использовать коэффициенты ремонтов K_p и отказов K_0 . Указанные коэффициенты определяют относительное количество ремонтов, выполненных для поддержания работоспособности узла, причем коэффициент K_0 учитывает работы только по неисправностям, выявленным в пути следования. В таблице 2 приведены значения коэффициентов K_p и K_0 для элементов систем электроснабжения исследуемых типов вагонов, анализ данных свидетельствует о неудовлетворительной профилактике генератора постоянного тока, штекерных разъемов, клемм и соединительных проводов.

Третья глава посвящена оптимизации периодичностей осмотров и ремонтов электрооборудования пассажирских вагонов.

Определение периодичности осмотра ТО-2 выполнено путем минимизации функции $\Psi(T)$ удельных эксплуатационных затрат, полученной по данным исследуемого вагонного участка:

$$\Psi(T) = C_1(T) + C_2(T) + C_3(T), \quad (9)$$

где $C_1(T)$ - функция затрат на проведение осмотра ТО-2;

$C_2(T)$ - функция затрат на дополнительные работы сверх объема ТО-2;

$C_3(T)$ - функция стоимости отказов электрооборудования;

T - межосмотровый период (учитывая специфику оболочки вагонов, целесообразно периодичность осмотра определить в сутках).

НТБ
документ

В соответствии с "Инструкцией по техническому содержанию оборудования пассажирских вагонов" осмотр ТО-2 выполняется в пункте формирования перед отправкой вагона в рейс и в пункте оборота, если от пункта формирования вагон проходит трое и более суток. Так как объем ТО-2 определяется указанной "Инструкцией" и не зависит от продолжительности рейса, то равные затраты на обслуживание будут отнесены к разным межсмотровым периодам. Функция $C_1(T)$ имеет гиперболическую зависимость, Далее, объем дополнительных работ, выполненных сверх ТО-2, будет возрастать от продолжительности рейса. Количество отказов, устраниемых на ТО-2, также пропорционально величине межсмотрового периода. Экспериментальные значения функций $C_2(T)$ и $C_3(T)$, полученные для вагонов с различным периодом обращения, аппроксимированы параболой второго порядка по методу наименьших квадратов. Оптимальные значения периодичности ТО-2, определяемые в области незначительного изменения функции $\Phi(T)$, для исследуемых систем равны:

- а) электрооборудование ЭВ-7, $T_{\text{опт}} = 9 + 13$ суток;
- б) электрооборудование 47-Д, $T_{\text{опт}} = 7 + 10$ суток.

Учитывая, что в каждом пассажирском составе эксплуатируются вагоны различных типов, рекомендуется осмотр электрооборудования ТО-2 выполнять в пункте оборота, если от пункта формирования вагон проходит более четырех суток.

Периодичность ремонта и ревизии определяется по состоянию ходовых частей, автоцепочки, тележки, тем не менее целесообразно для организации оптимального ремонтно-профилактического цикла всего вагона установить межремонтные пробеги по устройствам электрооборудования.

Использованная в работе методика, основные положения которой

НТВ
днужт

разработаны А.А.Босовым, базируется на исследовании характера изменения функций восстановления основных систем электрооборудования. Автором реферируемой работы внесены в известную методику дополнения, суть которых состоит в том, что затраты на устранение отказов приняты не постоянными, а изменяющимися от пробега. Выражение для удельных затрат, обусловленных плановыми восстановлениями и внеплановыми ремонтами i - систем, имеет вид:

$$Z^*(t_i, \tau_i) = \min_{(t_i, \tau_i)} \sum_{i=1}^n \frac{C_i + C_{i,i}(\frac{t_i}{\tau_i} - 1) + (q_{i,i} + q_{e,i} t_i) \cdot \{a_i(1-\gamma_i)t_i^2 + (b_i + a_i)\gamma_i t_i\}}{t_i} \quad (10)$$

где C_i, t_i - стоимость и периодичность полного восстановления (деповский ремонт);

$C_{i,i}, \tau_i$ - стоимость и периодичность частичного восстановления (техническая ревизия);

γ_i - степень восстановления системы на ремонте данного вида;

a_i, b_i - коэффициенты функции восстановления системы;

$q_{i,i}, q_{e,i}$ - коэффициенты функции затрат на устранение отказов электрооборудования.

Для определения оптимальной периодичности ремонтов необходимо найти минимум функции $Z^*(t_i, \tau_i)$ с учетом наложенного ограничения -- вероятность безотказной работы за пробег U должна быть не ниже d ;

$$d = \text{Вер} (\xi > U) \quad (II)$$

Введя функцию Лагранжа, которая в данной задаче имеет вид

$$L = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i}{t_i} + \frac{C_{i,i}}{\tau_i} - \frac{C_i}{\tau_i} + (q_{i,i} + q_{e,i} t_i) \{a_i(1-\gamma_i)t_i + (b_i + a_i)\gamma_i\} + M \{2a_i(1-\gamma_i)t_i + a_i\gamma_i\} \right] \quad (12)$$

и взяв частные производные по τ_i и t_i , получим систему уравнений для расчета оптимальных пробегов:

$$\frac{\partial L}{\partial \tau_i} = \sum_{i=1}^n \left[-C_{i,i} \cdot \frac{1}{\tau_i^2} + (q_{i,i} + q_{e,i} t_i) a_i \gamma_i + M a_i \gamma_i \right] \quad (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial t_i} = \sum_{i=1}^n \left[-\frac{C_i^*}{t_i^2} + q_{i,i} a_i \gamma_i + q_{e,i} a_i \gamma_i + 2M a_i \gamma_i \right]$$

Вычисление множителя M произведено методом последовательных приближений из условия (II), расчет выполнен на ЭЦВМ по разработанному алгоритму.

Для исследуемых типов вагонов получены значения межремонтных пробегов (от указанных величин возможны отклонения $\pm 10\%$).

Электрооборудование ЭВ-7.

- а) группа ИП: $l = 550$ тыс.км; $T = 220$ тыс.км;
б) группы 2П-4П: $l = 410$ тыс.км; $T = 190$ тыс.км.

Электрооборудование 47-Д.

- а) группа ИК: $l = 490$ тыс.км; $T = 225$ тыс.км;
б) группы 2К-4К: $l = 340$ тыс.км; $T = 170$ тыс.км.

Схемы ремонтных циклов приведены на рис. I. (тыс.км.)

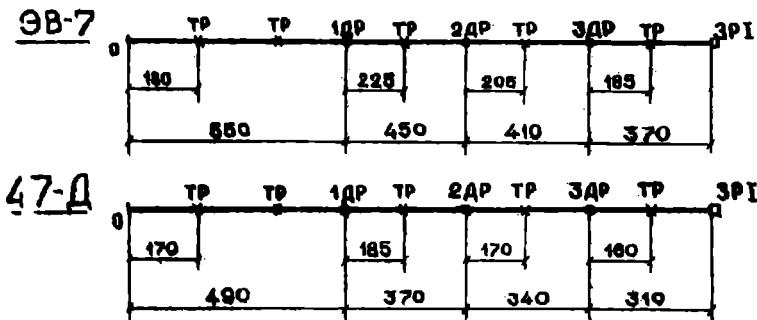


Рис. I

Здесь: 1ДР, 2ДР, 3ДР - порядковые номера деловых ремонтов;
ТР - техническая ревизия;
ЗР1 - заводской ремонт первого объема.

Описанная выше методика расчета учитывает не полную степень восстановления элементов, однако в некоторых случаях возможно применение упрощенной методики, предполагающей их полное восстановление. Определим периодичность технической ревизии, используя

НТБ
документ

информацию о приближении узла к состоянию отказа. В процессе эксплуатации возможны два случая: либо элемент профилактически заменяется (или ремонтируется) и тогда будут произведены затраты C_{Π} , либо до этого пробега произойдет отказ – тогда затраты на восстановление C_0 . Функция общих удельных затрат имеет вид:

$$\Psi(t) = \frac{C_0 P_0(t)}{t} + \frac{C_{\Pi} \cdot S_H(t)}{t \cdot t_{\text{опт}}} \quad (I4)$$

где $P_0(t)$ – вероятность отказа элемента за межпрофилактический период;

$S_H(t)$ – недоиспользованный ресурс элемента (см.рис.2);

$t_{\text{опт}}$ – расчетный пробег, соответствующий оптимальному использованию элемента.

Считая, что элемент может находиться в трех состояниях, запишем вероятности этих состояний: исправное (неисправностей нет) – $P_{\bar{H}}(t)$, неисправное (имеется неисправность, но отказ не наступил) – $P_{H,\bar{o}}(t)$, состояние отказа – $P_o(t)$. Очевидно, что указанные вероятности составляют полную группу событий:

$$P_{\bar{H}}(t) + P_{H,\bar{o}}(t) + P_o(t) = 1 \quad (I5)$$

Из указанных состояний наибольший интерес представляет вторая ситуация, т.к. профилактическое обслуживание должно проводиться в тот момент, когда к этому имеются определенные предпосылки, но устройство еще не отказалось. Следовательно, оптимальный пробег элемента $t_{\text{опт}}$ будет соответствовать максимуму вероятности $P_{H,\bar{o}}(t)$. Характер изменения указанных вероятностей представлен на рис. 2 (траверса генератора, $t_{\text{опт}} = 215$ тыс.км).

НТБ
документ

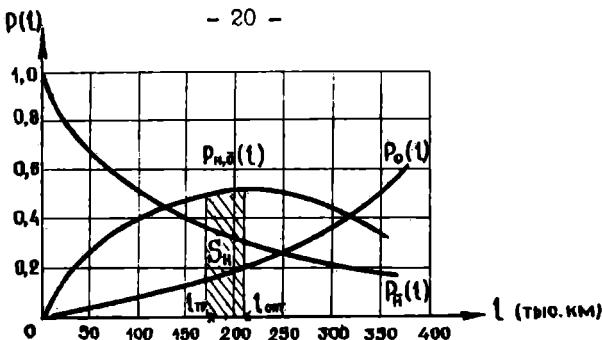


Рис. 2

Для каждого из i - элементов рассчитывается величина оптимального пробега, а периодичность проведения технической ревизии l_{trp} электрооборудования определяется из выражения:

$$\sum_{i=1}^n \frac{l_{opt}^i - l_{trp} P_o^i(l_{trp}) - l_{trp} P_H^i(l_{trp})}{l_{trp} \cdot f_i(l_{trp}) - P_o^i(l_{trp})} = \sum_{i=1}^n \frac{C_o^i}{C_H^i} \cdot l_{opt}^i \quad (16)$$

Вероятности $P_o(l_{trp})$ и $P_H(l_{trp})$ получены из непосредственной обработки потоков отказов и неисправностей, расчеты выполнены на основе разработанного алгоритма по выражению (5). Для исследуемых типов вагонов получены периодичности технической ревизии (от указанных величин возможны отклонения $\pm 10\%$).

Электрооборудование ЭВ-7:

группа III - 290 тыс.км; группы 2II-4II - 215 тыс.км.

Электрооборудование 47-Д:

группа IK - 255 тыс.км; группы 2K-4K - 180 тыс.км.

Полученные значения пробегов близки к ранее определенным, однако больше, как и следовало ожидать.

Четвертая глава посвящена разработке методики определения рациональных объемов осмотров и ремонтов электрооборудования и содержит рекомендации по повышению эксплуатационной надежности

НКБ
днужт

отдельных узлов.

Определенные в предыдущей главе величины пробегов между ремонтами электрооборудования имеют перспективный характер, т.к. для их внедрения необходимо изменение учета наработки пассажирского вагона. Однако, необходимость в установлении рационального объема работ по ремонту электрооборудования назрела давно. С этой целью разработана методика определения объема осмотра и ремонта электрооборудования применительно к существующим периодичностям и видам технического обслуживания пассажирского вагона, поэтому учет работы выполнен в сутках. В качестве предела использования элемента до определенного вида обслуживания принимается величина гамма-процентной наработки t_g . Этот показатель определяется по фактической надежности элемента с обязательным учетом приемлемого уровня вероятности безотказной работы $P(t_g)$. При установлении ресурса R_H до планируемого вида обслуживания должно соблюдаться условие, что $R_H \leq t_g$. Экономическая эффективность в предлагаемой методике достигается за счет использования резерва в уровне надежности элементов, установления рациональных объемов работ по осмотру и ремонту электрооборудования.

Для основных элементов электрооборудования нормативы по вероятности безотказной работы пока отсутствуют, поэтому до установления таких нормативов рекомендуется использовать следующие уровни $P(t)$. Каждый из этих уровней отнесен к определенным элементам с учетом характера и последствий отказов:

- а) угроза безопасности движения, вероятность $P(t) = 0,999$;
- б) исключение вагона из эксплуатации в пути следования, вероятность $P(t) = 0,99$;
- в) ремонт, связанный с демонтажем основных элементов (привода, генератора, мотор-вентилятора, электромашинного преобразо-

НИИ
Днужт

вателя люминесцентного освещения), вероятность $P(t) = 0,80$;

г) ремонт прочих элементов электрооборудования, выполняемый на технических осмотрах сверх установленного объема, имеет нижний предел вероятности $P(t) = 0,70$.

Величину t_f можно определить, если задано значение γ и известен закон распределения наработки на отказ.

Постановка задачи: по исходной информации вычислить экспериментальную функцию плотности и произвести аппроксимацию функцией (6). В качестве исходной информации следует взять количество отказов электрооборудования в интервале $(t_i, t_{i+\Delta t})$ при известном объеме выборки N_i , значение которой может изменяться.

Экспериментальную функцию плотности $f^*(t)$ вычисляем по известной зависимости $\omega^*(t)$, пользуясь (5). Неизвестные параметры C, λ, a, σ аппроксимирующей функции определим по минимуму суммы квадратов отклонений экспериментальной функции $f^*(t_i)$ и рассчитанной по (6), т.е.

$$S^2 = \sum_{i=0}^n [f^*(t_i) - Cf_1(t_i) - (1-C)f_2(t_i)]^2, \quad (17)$$

где $f_1(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$, $f_2(t) = A \cdot e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}}$

Минимизируя выражение (17) исходим из предположения, что функция (6) должна проходить через точки с координатами $(y_0, 0)$, (y_1, t_1) , (y_2, t_2) и в точке (y_1, t_1) иметь минимум (рис.3)

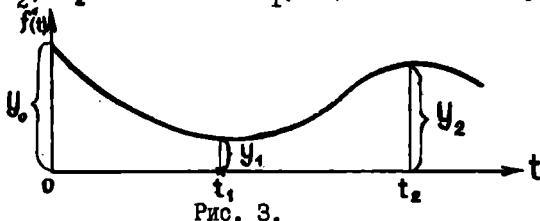


Рис. 3.

НТБ
днужт

Наложенные условия приводят к решению системы уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} y_0 = c \cdot \lambda + (1-c) \cdot A \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}} \\ y_1 = c \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t_1} + (1-c) \cdot A \cdot e^{-\frac{(t_1-\alpha)^2}{2\sigma^2}} \\ y_2 = c \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t_2} + (1-c) \cdot A \cdot e^{-\frac{(t_2-\alpha)^2}{2\sigma^2}} \\ 0 = c \cdot \lambda^2 \cdot e^{-\lambda t_1} + \frac{(1-c)(t_1-\alpha)}{\sigma^2} \cdot A \cdot e^{-\frac{(t_1-\alpha)^2}{2\sigma^2}} \end{array} \right\} \quad (18)$$

с ограничением на область решения: $0 \leq c \leq 1, \alpha \geq 0, \sigma \geq 0, \lambda \geq 0$.

Приближенное решение системы (18) выполним в предположении, что отношение $\frac{\alpha}{\sigma} > 3$, тогда $y_0 = c\lambda$. Значение коэффициента c находим из последнего уравнения системы (18). Оптимальные величины c и σ , минимизирующие (17), вычислены методом наискорейшего спуска. Исследование показало, что при найденных параметрах функция (17) имеет единственное решение по λ . Для вычисления оптимальных параметров $c, \alpha, \sigma, \lambda$ разработан алгоритм и программа решения на ЭЦВМ "Наири-2".

Получив функцию вероятности безотказной работы, определим наработку t_y , соответствующую заданной вероятности $P(t_y)$, после чего устанавливаем ресурс R_H каждого элемента до данного вида обслуживания. С целью иллюстрации методики в диссертации разработаны дифференцированные объемы деповских ремонтов для электрооборудования исследуемых типов вагонов. Эта разработка одобрена ведущим предприятием (ДМТП) Московской ж.д., рассмотрена на НГС Вагонной службы Приднепровской ж.д. и рекомендована для внедрения с учетом корректировки по местным условиям.

В работе отмечается, что для повышения эксплуатационной надежности электрооборудования ЭВ-7 необходимо улучшить подготовку персонала вагонных участков и дело. Конструктивные изменения следует внести в систему люминесцентного освещения путем перехода от

НТВ
Днужт

электромашинного преобразователя к статическому. Относительно электрооборудования 47-Д следует указать, что низкая ремонтопригодность генератора постоянного тока и его привода типа РК-6 (на эти элементы приходится 80 % внеплановых ремонтов) приводят к большим затратам средств в текущей эксплуатации. В диссертации разработан ряд мероприятий по повышению эксплуатационной надежности отдельных узлов электрооборудования.

При определении экономических показателей установлено, что среднегодовые затраты денежных средств на вагон по ремонту электрооборудования ЭВ-7 составляют 410 руб., в т.ч. на внеплановые ремонты 128 руб., для электрооборудования 47-Д соответственно 510 руб. и 201 руб. По результатам проведенных исследований экономическая эффективность достигается за счет:

- а) увеличения времени между осмотрами ТО-2 (\mathcal{E}_1);
- б) оптимизации объема деповских ремонтов (\mathcal{E}_2).

Расчеты по экономии оказались равными:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = 75,5 + 64,8 = 140,3 \text{ руб.}$$

в год на один пассажирский вагон.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

I. Выполненное исследование показало необходимость повышения эксплуатационной надежности электрооборудования и привода генератора пассажирских вагонов при одновременном снижении затрат методами технического обслуживания за счет разработки научно-обоснованной и экономически оправданной системы содержания;

НТБ
документ

данная задача до настоящего времени не была решена из-за отсутствия достаточного объема достоверной статистики о работе электрооборудования и привода генератора.

2. Изучение вопросов озотказности и ремонтопригодности электрооборудования показало, что:

- а) статистическая функция вероятности отказа систем электроснабжения и люминесцентного освещения соответствует композиции экспоненциального и усеченного нормального распределений, а системы вентиляции – композиции экспоненциальных распределений;
- б) экспериментальные данные по трудоемкости восстановления системы электроснабжения могут быть описаны экспоненциальным распределением (система ЭВ-?) или распределением Эрланга (система 47-Д).

3. Исследование потоков отказов систем электрооборудования показало, что:

- а) в потоках отказов исследуемых систем явно выражен период приработки, в интервале 0-300 тыс.км потоки отказов нестационарны (кроме потока отказов системы вентиляции), а устанавливающиеся потоки в интервале 300-400 тыс.км не являются простейшими, т.к. имеют ограниченное последействие;
- б) ограниченным последействием в указанных потоках отказов можно пренебречь, применив для описания на всем интервале исследования модель нестационарного пуссоновского потока.

НТБ
документ

4. Предложен и реализован на ЭЦВМ типа "Наира-2" алгоритм расчета характеристик надежности, позволяющий получить дифференциальные характеристики надежности из экспериментальных данных методом решения интегрального уравнения Вольтерра второго рода, алгоритм применим для широкого класса задач, требующих решения указанного уравнения.

5. Для исследуемого вагонного участка на основе анализа затрат по внеплановым ремонтам для поездов с различным периодом обращения установлено, что технический осмотр ТО-2 электрооборудования пассажирского вагона в пункте оборота следует выполнять в том случае, если вагон от пункта формирования прошел более четырех суток.

6. На основе усовершенствованной методики, использующей количественный показатель степени восстановления элементов, рассчитаны оптимальные периодичности технической ревизии и деповского ремонта электрооборудования исследуемых типов пассажирских вагонов.

7. Разработана методика обоснования рациональных объемов работ по осмотру ревизии и ремонту электрооборудования с использованием показателя "гамма - процентная наработка". В качестве иллюстрации методики установлены дифференцированные объемы деповских ремонтов электрооборудования пассажирских вагонов вагонного участка Восточного направления Московской железной дороги.

Методика применима для пассажирских вагонов различных направлений, вычислительный процесс реализован на ЭЦВМ "Наира-2".

НТВ
Днужт

Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:

1. Доценко В.Е., Хмельницкий Е.Д. Повышение надежности систем электроснабжения пассажирских вагонов. "Железнодорожный транспорт", 1973, № 1.
2. Хмельницкий Е.Д., Чивикин В.И. Определение периодичности профилактического обслуживания электрооборудования пассажирских вагонов. Труды МИИТ, вып. 467, 1974.
3. Хмельницкий Е.Д., Харитонов В.А. Обоснование выбора измерителя показателей надежности систем электроснабжения пассажирских вагонов. В сборнике "Вопросы прочности, долговечности и надежности механизмов и машин", Калинин, 1974.

Материалы диссертации докладывались и
обсуждались на:

1. Научном семинаре кафедры "Электрические машины и электрооборудование" МИИГа, Москва, 1972.
2. Научно-технической конференции ДИИГа, Днепропетровск, 1974 г.;
3. Научно-техническом совещании Калининского филиала ВНИИ вагоностроения, Калинин, 1975 г.
4. Научном семинаре кафедр факультета "Электрификация железных дорог" и кафедры "вагонное хозяйство" ДИИГа, Днепропетровск, 1975 г.
5. Научно-техническом совещании дирекции международных и турристических перевозок Московской железной дороги, Москва, 1975.
6. Научно-техническом совещании Вагонной службы Приднепровской железной дороги, Днепропетровск, 1975 г.

НТБ
Днужт

Размножено на ротапринте при Городской типографии
№ 9, ул.Фрунзе № 6. 1975. Заказ № 946 в. тираж - 150
БТ 31815 подп. в печати 18. VIII. 75 г.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
днужт