

На правах рукописи

ПУЛЬТЯКОВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА НАПОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ
ПО СТЕПЕНИ РАСХОДОВАНИЯ ИХ РЕСУРСА**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

ИРКУТСК – 2006

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ИрГУПС) Федерального агентства железнодорожного транспорта

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Шаманов Виктор Иннокентьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Бардушко Валерий Данилович
кандидат технических наук, доцент
Лунев Сергей Александрович

Ведущая организация: Российский научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи
(ВНИИАС МПС России)

Защита состоится «14» декабря 2006 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 218.004.01 при Иркутском государственном университете путей сообщения по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ауд. А-803.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского государственного университета путей сообщения.

Автореферат разослан «14» ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н.П. Деканова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При обслуживании систем автоматики и телемеханики, эксплуатируемых в народном хозяйстве, широко используется регламентное обслуживание. Наиболее передовой способ технического обслуживания «по состоянию» требует наличия высоконадежной и достаточно точной контрольной аппаратуры, что сопряжено с определенными техническими трудностями и требует дополнительных денежных затрат. Поэтому в настоящее время во многих отраслях техники, на промышленном и магистральном железнодорожном транспорте используется в основном регламентное обслуживание таких систем.

Одной из важнейших задач для промышленных предприятий и всех отраслей транспорта в сложившихся условиях является обеспечение эффективности их работы за счет снижения затрат на эксплуатацию всех технических средств. Достижение указанной цели возможно за счет высокого качества технической эксплуатации с постепенным переходом на обслуживание «по состоянию», что уменьшает влияние «человеческого фактора» на работу устройств. Данная задача весьма актуальна, в том числе, и для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

Рост объемов перевозок, повышение скоростей движения и веса поездов на основных направлениях железных дорог увеличивают интенсивность работы устройств ЖАТ, особенно напольных. На второстепенных линиях интенсивность работы устройств ЖАТ на порядок меньше, но затраты на их эксплуатацию при действующей организации технического обслуживания остаются соизмеримыми с затратами на эксплуатацию устройств ЖАТ на линиях основных направлений. Интенсивность работы устройств ЖАТ даже на одной станции также сильно различается на главных и боковых путях.

Единая периодичность профилактических работ по техническому обслуживанию устройств ЖАТ по всей сети дорог ведет к нерациональному использованию трудовых ресурсов. Шагом к дифференцированию сроков

проведения работ по техническому обслуживанию устройств ЖАТ стало введение периодичности выполнения работ по техническому обслуживанию устройств и сроков проведения капитальных ремонтов с учетом категории железнодорожных линий по интенсивности движения поездов.

Введенная с использованием метода экспертных оценок дифференцированная по линиям разных категорий периодичность работ по техническому обслуживанию и капитальным ремонтам устройств ЖАТ без серьезного научного обоснования недостаточно учитывает реальный расход их технического ресурса, что приводит к неоправданному росту эксплуатационных расходов и повышенному отрицательному влиянию «человеческого фактора» на надежность и безопасность данных устройств.

Это определяет актуальность задачи разработки научных основ и методов для определения сроков выполнения работ по техническому обслуживанию и капитальным ремонтам устройств ЖАТ в зависимости от скорости расходования их технического ресурса.

Большой вклад в развитие теории и практики технической эксплуатации, совершенствования методов организации технического обслуживания и ремонта технических средств, в том числе и устройств ЖАТ, обеспечивающих безопасность движения поездов, внесли известные отечественные и зарубежные ученые: В.М. Алексеев, Н.К. Анисимов, Е.Ю. Барзилович, Р. Барлоу, А.И. Брейдо, А.М. Брылеев, Д.В. Гавзов, А.В. Горелик, И.Е. Дмитренко, Г.В. Дружинин, Н.Г. Капитоненко, А.Г. Кириленко, Н.Ф. Котляренко, Ю.А. Кравцов, В.М. Лисенков, А.Б. Никитин, В.А. Овсянников, Л.В. Пальчик, А.С. Переборов, Ф. Прошан, Ю.М. Резников, В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, А.Е. Федотов, А.И. Шадрин, В.И. Шаманов, А.В. Шишляков, Р.Ш. Ягудин и многие другие.

Цель диссертационной работы. Разработка научно-методологических основ и практических рекомендаций для создания дифференцированной системы технического обслуживания и ремонта напольных устройств ЖАТ с учетом скорости расходования их технического ресурса.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи.

1. Разработка методов математического моделирования организационно-технологической системы технического обслуживания и ремонта устройств ЖАТ на базе марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем.

2. Создание на базе синтезированных марковских математических моделей методики определения рациональной периодичности технического обслуживания по скорости расходования технического ресурса стрелочных электроприводов и стыковых рельсовых приварных соединителей, включающей решение оптимизационной задачи с использованием технико-экономического критерия, а также методики обоснования рациональных сроков проведения капитальных ремонтов стрелочных электроприводов.

3. Разработка методов контроля и диагностики состояния рельсовых линий электрических рельсовых цепей и синтез с их использованием технических средств, обеспечивающих оперативное получение более достоверной информации об остаточном ресурсе и техническом состоянии устройств.

Основные методы научных исследований. При решении поставленных в диссертации задач использованы методы, базирующиеся на теории надежности, теории графов, теории марковских цепей, теории электрических и рельсовых цепей, теории вероятностей и математической статистики, а также теории дифференциального исчисления.

Достоверность сформулированных в диссертации научных положений обусловлена корректностью исходных математических положений, обоснованностью принятых допущений, репрезентативностью статистических данных, подтверждена соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также результатами обсуждения материалов работы на научно-технических конференциях и результатами внедрения разработанных технических решений.

Научная новизна. В диссертации впервые получены, составляют предмет научной новизны и выносятся на защиту следующие положения.

1. Обобщенная марковская модель организационно-технологической системы технического обслуживания и ремонта устройств ЖАТ и разработанные на ее основе частные модели подсистем технического обслуживания и ремонта стрелочных электроприводов и токопроводящих стыков рельсовых линий с разными типами стыковых рельсовых приварных соединителей.

2. Методика оптимизации по технико-экономическому критерию периодичности технического обслуживания стрелочных электроприводов на линиях с низкой интенсивностью движения поездов и на малодеятельных стрелках станций, расположенных на линиях основных направлений, созданная с использованием разработанной модели расходования технического ресурса устройств ЖАТ.

3. Методика поиска рациональной периодичности технического обслуживания стрелочных электроприводов с учетом ограничений, накладываемых особенностями эксплуатации систем ЖАТ на конкретных участках и методами планирования работ по их техническому обслуживанию.

4. Методика обоснования сроков проведения капитальных ремонтов стрелочных электроприводов на малодеятельных стрелках с учетом скорости расходования их технического ресурса.

5. Методика назначения сроков технического обслуживания стыковых рельсовых приварных соединителей в зависимости от величины их технического ресурса, разработанная на основе предложенных методов математического моделирования.

Практическая значимость и реализация результатов работы полученных в ходе диссертационных исследований, состоит в следующем.

1. Разработанные с использованием проведенных исследований стальные стыковые соединители для участков с электротягой переменного тока внедрены и успешно эксплуатируются на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД).

2. Разработанные методы учета скорости расходования технического ресурса и определения рациональной периодичности технического обслуживания стрелочных электроприводов являются методической базой для разработки системы технического обслуживания и ремонта напольных устройств ЖАТ с дифференцированными сроками проведения работ для железнодорожных линий разных категорий по интенсивности движения поездов и для устройств расположенных в районах станций с разной интенсивностью поездной и маневровой работы.

3. Разработанные способ и устройство для диагностирования состояния элементов токопроводящих рельсовых стыков, а также устройство для измерения асимметрии обратного тягового тока в рельсовых цепях без изолирующих стыков обеспечивают повышение ремонтпригодности рельсовых цепей и создают базу для перехода на их техническое обслуживание «по состоянию».

4. Основные теоретические положения и математические модели, а также результаты практической реализации диссертационных исследований используются в учебном процессе для студентов специальности 190402 «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» при изучении дисциплин «Организация производства дистанций сигнализации и связи», «Станционные системы автоматики и телемеханики» и «Автоматика и телемеханика на перегонах», а также при курсовом и дипломном проектировании на кафедре «Автоматика и телемеханика» ИрГУПС.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса», посвященной 50-летию БелГУТа (Гомель, БелГУТ, 2003); Межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные проблемы радиоэлектроники» посвященной 109-й годовщине дня Радио (Иркутск, ИрГТУ, 2004); Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Ресурсосберегающие

технологии на железнодорожном транспорте», посвященной 50-летию филиала ИрГУПС в г. Красноярске (Красноярск, КФ ИрГУПС, 2005); а также на научно-технических семинарах кафедры «Автоматика и телемеханика» ИрГУПС.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ, в том числе одна в научно-техническом журнале «Автоматика, связь, информатика», рекомендованном ВАК для опубликования результатов диссертационных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 137 наименований и семи приложений. Общий объем диссертации составляет 179 страниц, из которых 143 страницы основного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи диссертационных исследований, указаны научная новизна и практическая ценность результатов работы и определены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ состояния и направлений развития системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) устройств ЖАТ. Установлено, что одним из направлений совершенствования системы ТО и Р устройств ЖАТ в современных условиях является научное обоснование рациональной периодичности проведения работ по регламентному обслуживанию и ремонту устройств при их технической эксплуатации.

По результатам проведенного анализа уровня надежности и трудоемкости ТО и Р устройств ЖАТ определено, что первоочередное проведение исследований, направленных на снижение расходов при их эксплуатации, необходимо для napольных устройств, где наиболее трудоемкими являются работы по техническому обслуживанию и ремонту стрелочных электроприводов и рельсовых цепей.

Интенсивность работы и скорость расходования технического ресурса стрелочных электроприводов и элементов рельсовых линий в рельсовых цепях в значительной степени зависят от интенсивности передвижений по ним поездов и подвижных единиц и поэтому существенно различаются на линиях различных категорий по интенсивности движения поездов, а также в разных районах станций. Для снижения расходов на эксплуатацию напольных устройств ЖАТ и уменьшения отрицательного действия «человеческого фактора» необходима разработка методов учета различия в скорости расходования их технического ресурса при назначении сроков проведения работ по ТО и Р.

Показана возможность оптимизации процесса ТО и Р устройств ЖАТ по технико-экономическим критериям с использованием аппарата цепей Маркова.

Во второй главе приведены результаты разработки моделей процесса технического обслуживания и ремонта напольных устройств ЖАТ с использованием математического аппарата цепей Маркова, позволяющих описывать поведение больших технических систем и устройств, входящих в них. Марковская аппроксимация процессов старения обеспечивается при этом за счет нелинейного преобразования – квантования по уровню случайных функций, характеризующих изменение во времени обобщенного параметра устройства или системы.

Нелинейное преобразование вполне естественно для устройств ЖАТ, так как при их техническом обслуживании параметры измеряются в дискретные, и, как правило, равноотстоящие моменты времени. Обычно считается, что марковская цепь описывает переходный режим некоторой системы на одинаковых интервалах времени. Это позволяет использовать цепи Маркова для исследования «поведения» или изменения состояний устройств ЖАТ на всем времени эксплуатации.

На рис. 1 представлена разработанная обобщенная марковская модель процесса технического обслуживания и ремонта устройств ЖАТ, в которой приняты следующие обозначения состояний.

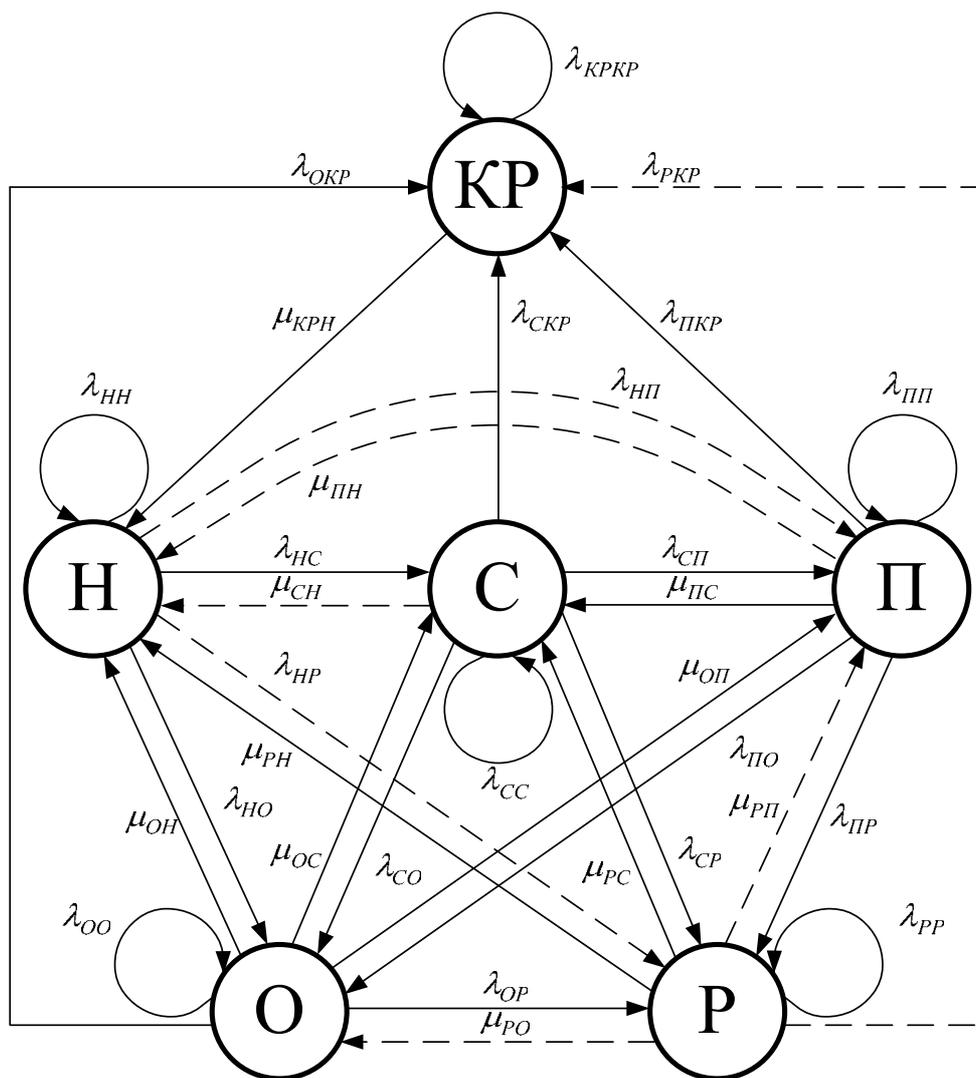


Рис. 1. Обобщенная модель процесса ТО и Р устройств ЖАТ

Н – новое состояние – это работоспособное состояние, когда все контролируемые параметры находятся в пределах, предписываемых для момента пуска в эксплуатацию, в которое попадают устройства ЖАТ, поступившие с завода или после капитального ремонта, проведенного в условиях дистанции. Данное состояние – это период приработки, во время которого проявляются скрытые дефекты.

С – стареющее состояние при котором устройства ЖАТ находятся в работоспособном состоянии, и все параметры, характеризующие способность объекта выполнять заданные функции, находятся в области допустимых значений. Данное состояние наступает после окончания периода приработки и включает в себя весь период нормальной эксплуатации.

П – предотказное состояние (работоспособное), когда один или несколько из контролируемых параметров достигают области критических значений.

О – состояние отказа (защитного или опасного), при котором устройства ЖАТ находятся в неработоспособном состоянии.

Р – состояние текущего ремонта, в которое устройства ЖАТ попадают либо во время устранения отказов, либо при техническом обслуживании, когда проводится замена или восстановление каких-либо узлов или деталей.

КР – состояние капитального ремонта, в которое устройства ЖАТ выводятся в соответствии с графиками замены в установленные нормативными документами сроки.

Переходы между возможными состояниями данной модели, обозначенные λ с индексами, составленными из обозначений начального и конечного состояний, являются интенсивностями старения, отказов, предотказов, проведения текущего и капитального ремонтов. Интенсивности отказов включают в себя интенсивности всех возможных видов как защитных, так и опасных отказов – внезапных, постепенных, приработочных и послепрофилактических.

Обратные переходы между состояниями, обозначенные μ , являются интенсивностями восстановлений после отказов, работ при регламентном обслуживании и ввода в эксплуатацию после капитального ремонта.

Дуги графа с возвращением в те же состояния соответствуют случаям, когда между очередными проверками контролируемых параметров объект остался в прежнем дискретном состоянии. Эти переходы обозначены $\lambda_{НН}$, $\lambda_{СС}$, $\lambda_{ПП}$, $\lambda_{ОО}$, $\lambda_{РР}$, $\lambda_{КРКР}$.

В данной модели учтены и маловероятные переходы, обозначенные пунктирными линиями. В дальнейшем для упрощения расчетных формул эти переходы не рассматриваются, то есть значения интенсивностей этих переходов принимаются равными нулю.

Математическая модель рассматриваемого процесса изменения состояний во времени включает в себя вектор-столбец $P(0)$, задающий

вероятностное распределение состояний в нулевой момент времени, и стохастическую матрицу вероятностей переходов между состояниями $\|P_{ij}\|$.

Разработанная обобщенная модель процесса ТО и Р устройств ЖАТ позволяет строить частные модели технического обслуживания и ремонта любых устройств ЖАТ с учетом специфики их работы и проявления отказов, а также выводить расчетные формулы для определения вероятностей пребывания в каждом из возможных дискретных состояний рассматриваемого процесса.

Разработанная марковская модель процесса технического обслуживания и ремонта стрелочных электроприводов на интервале времени от пуска в эксплуатацию до момента замены для капитального ремонта или списания представлена на рис. 2.

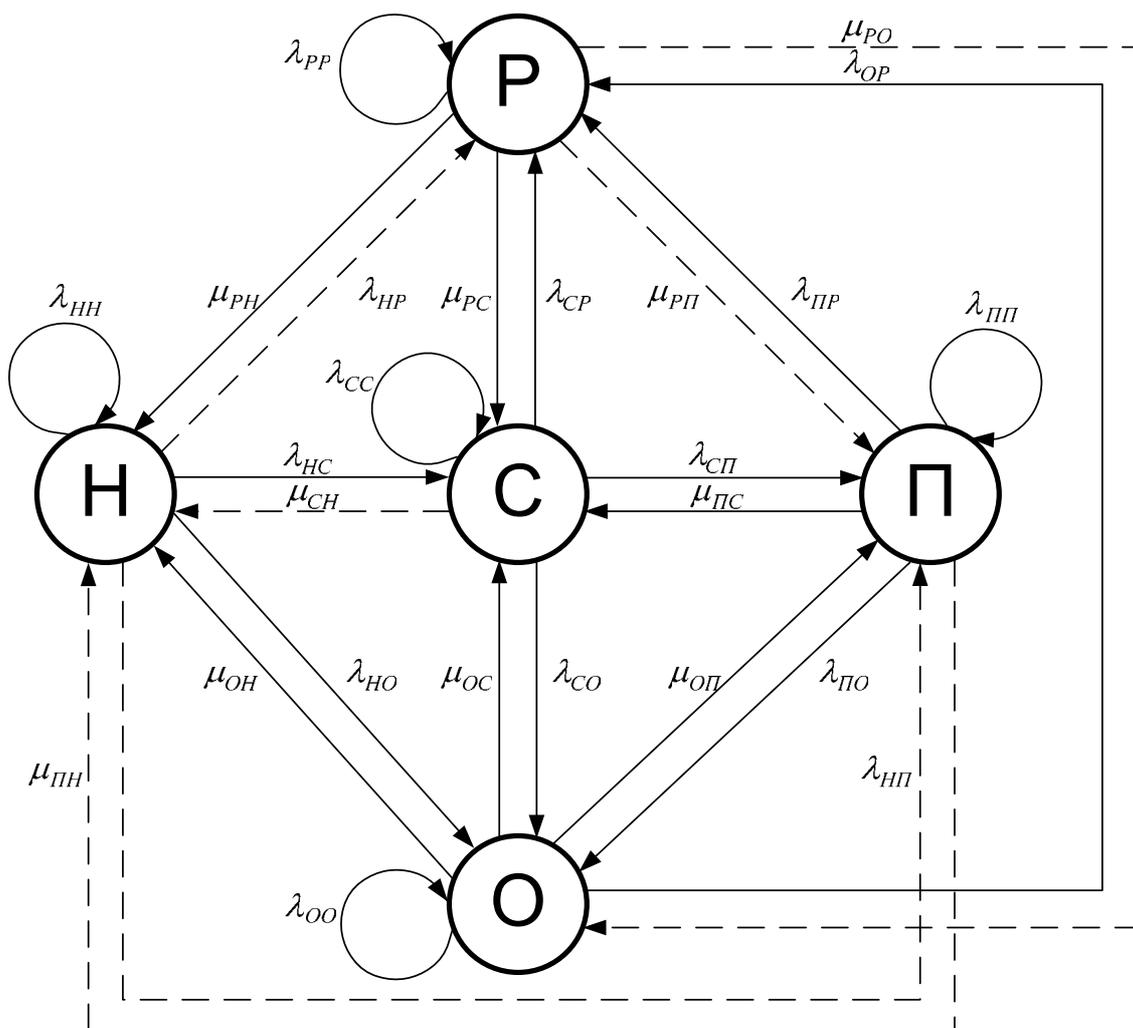


Рис. 2. Модель процесса ТО и Р стрелочных электроприводов

Система дифференциальных уравнений для данной модели имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_H}{dt} &= -P_H(t) \cdot (\lambda_{HC} + \lambda_{HO}) + P_C(t) \cdot 0 + P_{II}(t) \cdot 0 + P_O(t) \cdot \mu_{OH} + P_P(t) \cdot \mu_{PH}; \\ \frac{dP_C}{dt} &= P_H(t) \cdot \lambda_{HC} - P_C(t) \cdot (\lambda_{CI} + \lambda_{CO} + \lambda_{CP}) + P_{II}(t) \cdot \mu_{IC} + P_O(t) \cdot \mu_{OC} + P_P(t) \cdot \mu_{PC}; \\ \frac{dP_{II}}{dt} &= P_H(t) \cdot 0 + P_C(t) \cdot \lambda_{CI} - P_{II}(t) \cdot (\mu_{IC} + \lambda_{IO} + \lambda_{IP}) + P_O(t) \cdot \mu_{OI} + P_P(t) \cdot 0; \\ \frac{dP_O}{dt} &= P_H(t) \cdot \lambda_{HO} + P_C(t) \cdot \lambda_{CO} + P_{II}(t) \cdot \lambda_{IO} - P_O(t) \cdot (\mu_{OH} + \mu_{OC} + \mu_{OI} + \lambda_{OP}) + P_P(t) \cdot 0; \\ \frac{dP_P}{dt} &= P_H(t) \cdot 0 + P_C(t) \cdot \lambda_{CP} + P_{II}(t) \cdot \lambda_{IP} + P_O(t) \cdot \lambda_{OP} - P_P(t) \cdot (\mu_{PH} + \mu_{PC}). \end{aligned} \right\} (1)$$

Рассматриваемые состояния данного процесса образуют полную группу несовместных событий, поэтому сумма их вероятностей равна единице.

$$P_H(t) + P_C(t) + P_{II}(t) + P_O(t) + P_P(t) = 1. \quad (2)$$

В результате решения системы уравнений (1) с учетом уравнения (2) при известных численных значениях интенсивностей переходов между состояниями процесса ТО и Р стрелочных электроприводов определяются вероятности их нахождения в каждом из возможных дискретных состояний рассматриваемого процесса.

В данной главе разработаны также частные модели процессов технического обслуживания и ремонта для медных и стальных стыковых рельсовых приварных соединителей. Выведены с использованием дифференциальных уравнений Колмогорова расчетные формулы для вычисления вероятностей пребывания данных устройств в каждом из возможных состояний.

В третьей главе разработаны методика оптимизации по технико-экономическому критерию периодичности ТО стрелочных электроприводов, эксплуатируемых на малодеятельных линиях четвертой категории и на малодеятельных стрелках станций, расположенных на линиях основных направлений, а также методика поиска рациональной периодичности ТО стрелочных электроприводов.

Для численного решения системы дифференциальных уравнений (1) с учетом уравнения (2) для стрелочных электроприводов, требуется знание численных данных по интенсивностям переходов между состояниями. Эти численные значения для линий разных категорий были найдены по результатам анализа статистических данных службы автоматики и телемеханики ВСЖД, что позволило получить значения вероятностей пребывания стрелочных электроприводов в различных состояниях. Были найдены также численные значения суммарных и удельных расходов на эксплуатацию стрелочных электроприводов на линиях ВСЖД с разной интенсивностью движения поездов.

На базе методики расчета вероятностей пребывания стрелочных электроприводов в состояниях марковской модели процесса ТО и Р была разработана методика поиска оптимальной по технико-экономическому критерию периодичности ТО стрелочных электроприводов.

Определяющим параметром является интенсивность движения поездов, влияющая на скорость расходования ресурса стрелочных электроприводов и ограничивающая время восстановления их работоспособности после отказов, а изменяемым параметром взята периодичность ТО, определяющая трудоемкость обслуживания и величину эксплуатационных расходов.

По разработанной методике был найден оптимум периодичности выполнения работы № 3.1.3 Инструкции ЦШ-720 «Проверка внутреннего состояния электропривода, исправности электродвигателя, с переводом стрелки; чистка и смазывание электропривода» в стрелочных электроприводах типов СП-6 и СП-6М с электродвигателями переменного тока, эксплуатируемых на линиях четвертой категории. Трудоемкость выполнения данной работы на линиях четвертой категории составляет 43,8 % от общего объема работ по профилактике защитных отказов стрелочных электроприводов, а существующая периодичность ее проведения – один раз в квартал.

На рис. 3 показаны графики изменения, в зависимости от периодичности проведения данной работы по ТО стрелочных электроприводов, интенсивности защитных отказов λ_3 , удельных на один электропривод годовых расходов на ТО

C'_o , ущерба в поездной работе от отказов стрелочных электроприводов и затрат от дополнительных расходов трудовых ресурсов на их устранение C'_y , а также удельных суммарных эксплуатационных расходов $C'_э$.

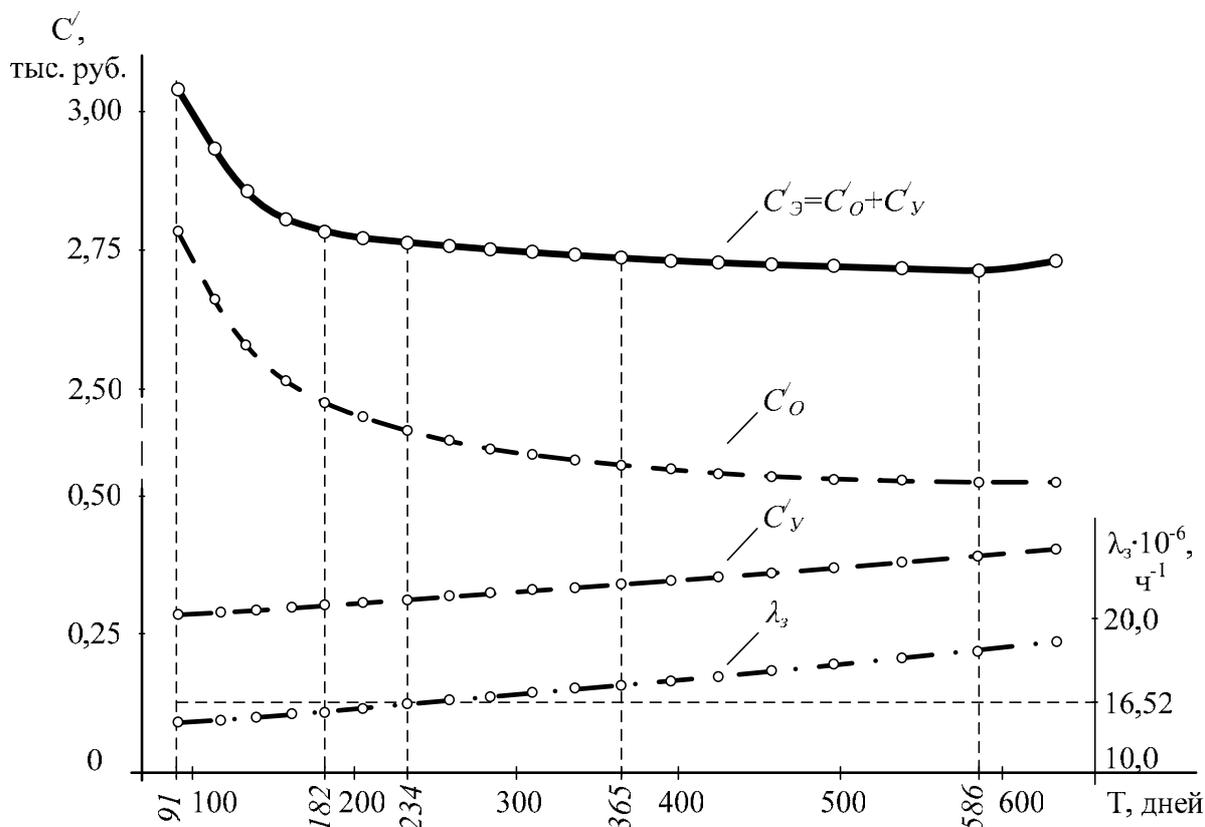


Рис. 3. Зависимость удельных расходов на эксплуатацию стрелочных электроприводов от периодичности выполнения работы № 3.1.1. Инструкции ЦШ-720

В технико-экономических расчетах минимум бывает обычно слабовыраженным, что видно и из рис. 3. Поэтому более корректно можно говорить не об оптимальной, а о рациональной периодичности технического обслуживания, которая определяется с учетом ограничений, накладываемых особенностями эксплуатации систем ЖАТ на конкретных участках и действующими методами планирования работ по их техническому обслуживанию.

Полученная рациональная периодичность выполнения рассматриваемой работы – один раз в 365 дней (один раз в год). При этом трудоемкость выполнения работ по ТО стрелочных электроприводов с электродвигателями переменного тока с учетом непродуктивных затрат времени на линиях

четвертой категории ВСЖД уменьшится на 13,4 % и составит 20,95 чел-ч. в год на один электропривод.

Существующая практика назначения одинаковой периодичности капитальных ремонтов стрелочных электроприводов без учета скорости расходования их ресурса в конкретных условиях эксплуатации большей частью избыточна. Поэтому в данной главе разработана также методика определения рациональных сроков капитальных ремонтов стрелочных электроприводов, эксплуатируемых на малодеятельных стрелках железнодорожных линий различных категорий с учетом скорости расходования их технического ресурса.

На основании разработанной модели эволюции во времени ресурса стрелочных электроприводов найдена зависимость периодичности их замены от средней скорости расходования технического ресурса. Показано, что рациональные сроки замены для проведения капитального ремонта стрелочных электроприводов, эксплуатируемых на линиях третьей и четвертой категорий, а также эксплуатируемых на линиях первой и второй категорий, установленных на малодеятельных стрелках, составляет 9 и 12 лет соответственно при действующем максимальном сроке замены, равном 8 лет.

В четвертой главе разработаны методы увеличения ресурса токопроводящих элементов рельсовых линий на участках с электротягой переменного тока, а также разработана методика назначения сроков технического обслуживания стыковых рельсовых приварных соединителей в зависимости от величины их технического ресурса.

Основными элементами, влияющими на величину продольного сопротивления рельсовой линии, являются токопроводящие стыки и дроссельные перемычки. Поэтому для сокращения затрат на эксплуатацию рельсовых цепей необходимо увеличивать ресурс этих элементов рельсовых линий.

Выполненные исследования показали, что при недостаточном внимании к регулировке электрического сопротивления длинных и коротких дроссельных перемычек, а также при недостаточном контроле за сопротивлениями в местах

подключения этих перемычек к рельсам и к дроссель-трансформаторам их сопротивления могут различаться в 2 – 2,5 раза, что приводит к увеличению продольной асимметрии рельсовой линии сверх нормы, особенно в коротких рельсовых цепях.

Исследования в условиях эксплуатации сопротивления токопроводящих стыков с медными рельсовыми приварными стыковыми соединителями показали, что сопротивление этих соединителей начинает заметно расти уже после двух – трех лет эксплуатации из-за деградиационных процессов на переходах «медь – сталь» в стальных манжетах и из-за обрывов медных проволок от динамических нагрузок при воздействии на путь колесных пар. Кроме того, такие соединители интенсивно расхищаются.

Испытания разработанных специалистами ВСЖД и ИрГУПС стальных стыковых рельсовых приварных соединителей в эксплуатационных условиях ВСЖД показали, что по электропроводности стальные стыковые приварные соединители практически не уступают медным приварным соединителям. Это видно и из рис. 4, на котором представлены гистограммы распределения по электрическому сопротивлению токопроводящих стыков с разными типами новых стыковых рельсовых приварных соединителей. Медные и стальные соединители сечением 27 мм² были приварены к новым рельсам после капитального ремонта пути, а стальные соединители сечением 50 мм² были приварены к рельсам эксплуатировавшимся уже четвертый год после проведения капитального ремонта пути.

Электрические сопротивления токопроводящих рельсовых стыков измерялись методом двух вольтметров. Величина этих сопротивлений выражена в метрах эквивалентной длины (м.э.д.), где за единицу измерения взято электрическое сопротивление одного метра целого рельса.

Среднее значение сопротивления стыков с новыми медными стыковыми рельсовыми приварными соединителями было равным 1,06 м.э.д., стыков с новыми стальными приварными соединителями сечением 27 мм² было равным

1,19 м.э.д., а сопротивление стыков со стальными приварными соединителями сечением $2 \times 50 \text{ мм}^2$ равнялось 1,22 м.э.д.

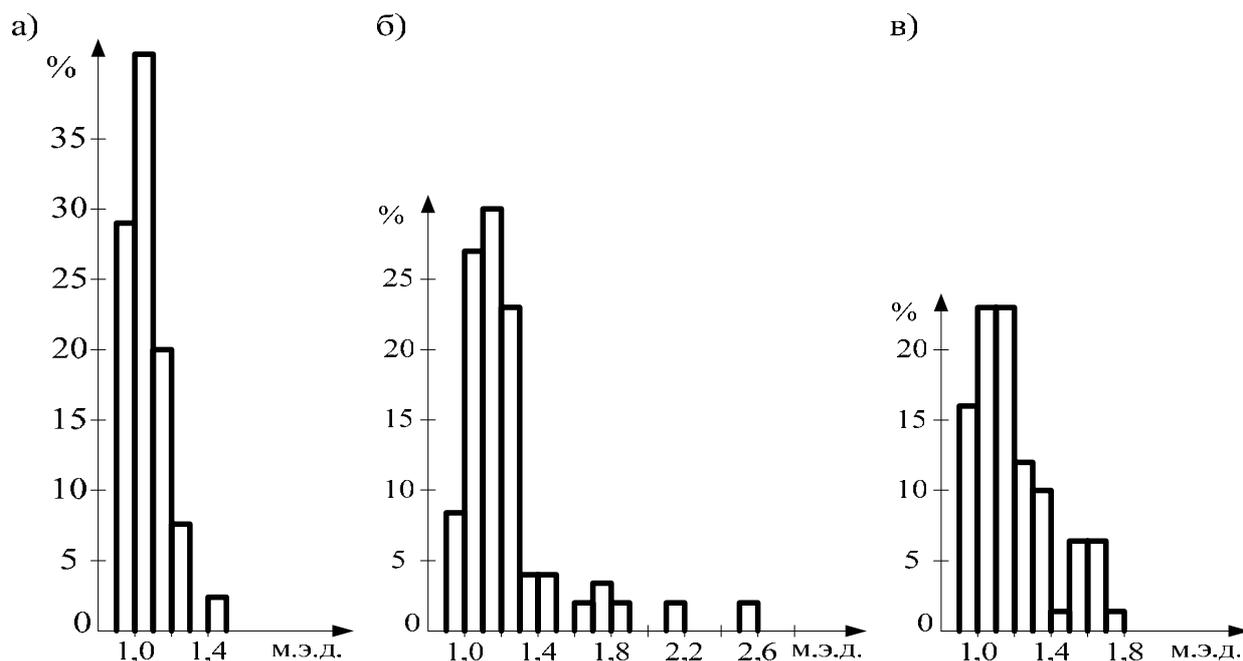


Рис. 4. Распределение по электрическому сопротивлению стыков с новыми стыковыми рельсовыми приварными соединителями:

а – медными, сечением 50 мм^2 ; б – стальными, сечением 27 мм^2 ; в – стальными, сечением $2 \times 50 \text{ мм}^2$

Наблюдения в течение семи лет за динамикой роста сопротивления стальных и медных соединителей показали, что замена медных стыковых рельсовых приварных соединителей начинается уже через 2,5 – 3 года после их установки. Стальные соединители даже через семь лет эксплуатации имели хороший запас по сопротивлению. Следовательно, их ресурс в два раза и больше превышает ресурс медных соединителей. Это делает правомерной постановку задачи определения периодичности их технического обслуживания большей по сравнению с действующей.

Построенные, по результатам проведенного комплекса измерений в течение ряда лет в условиях эксплуатации, графики изменения во времени сопротивления токопроводящих стыков с разными типами приварных соединителей показаны на рис. 5.

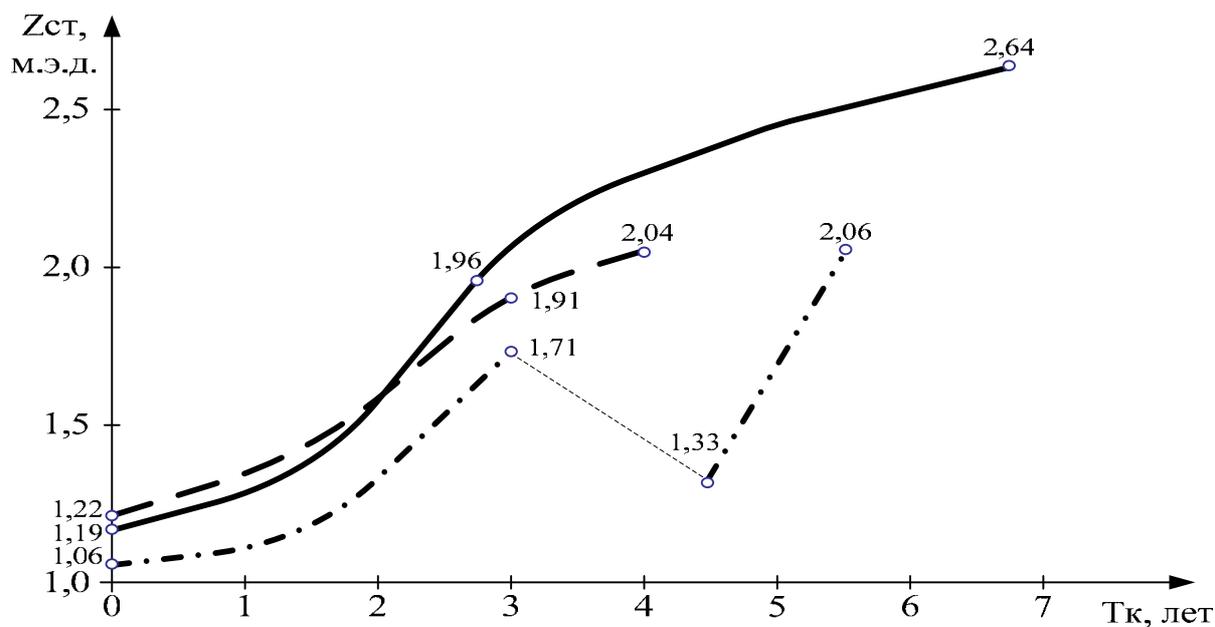


Рис. 5. Эволюция во времени сопротивления токопроводящих стыков

- · — · с медными соединителями сечением 50 мм²;
- · — с медными соединителями сечением 50 мм², задублированными стальными штепсельными сечением 27 мм²;
- со стальными соединителями сечением 27 мм²;
- — со стальными соединителями сечением 2x50 мм².

Разработанные в главе 2 диссертации модели жизненного цикла медных и стальных стыковых рельсовых приварных соединителей позволяют находить рациональную периодичность их технического обслуживания в зависимости от величины технического ресурса. Выполненные по разработанной с учетом этого методике расчеты с использованием статистических данных служб пути и автоматики и телемеханики ВСЖД показали, что на главном ходу ВСЖД периодичность технического обслуживания стальных стыковых соединителей можно увеличить в два раза и принять её равной один раз в два месяца.

В пятой главе предложены технические решения для повышения качества технического обслуживания устройств ЖАТ и проведена оценка эффективности использования стальных стыковых рельсовых приварных соединителей взамен медных на участках с электротягой переменного тока.

Разработан способ для диагностирования состояния токопроводящих рельсовых стыков, а также разработано устройство, реализующее

предложенный способ. Данное устройство позволяет определить какой именно элемент стыка – накладки, основной или дублирующий соединитель, находятся в неисправном состоянии. Разработано также устройство для измерения параметров рельсовых цепей на электрифицированных железнодорожных линиях, которое обеспечивает возможность измерения асимметрии обратного тягового тока в любой точке рельсовой линии.

По разработанным способу и устройствам поданы заявки на изобретения, которые находятся в настоящее время на рассмотрении в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснована необходимость деления устройств ЖАТ по интенсивности их работы и разработки методов учета различий в скорости расходования их технического ресурса при назначении сроков проведения работ по их техническому обслуживанию и вывода на капитальный ремонт.

2. Разработан метод математического моделирования организационно-технологической системы технического обслуживания и ремонта устройств ЖАТ и на его основе синтезирована обобщенная марковская модель процессов в этой системе с использованием вероятностей нахождения устройства в каждом из возможных состояний и интенсивностей переходов между этими состояниями.

3. Разработаны, как частные случаи обобщенной модели, марковская модель процесса технического обслуживания и ремонта стрелочных электроприводов и марковские модели процессов технического обслуживания медных и стальных стыковых рельсовых приварных соединителей для участков с электротягой переменного тока, а также выведены формулы для вычисления вероятностей попадания стрелочных электроприводов и медных и стальных стыковых рельсовых соединителей в каждое из возможных состояний с использованием дифференциальных уравнений Колмогорова.

4. Разработаны методика оптимизации периодичности технического обслуживания стрелочных электроприводов по технико-экономическому критерию и методика поиска рациональной периодичности их обслуживания с учетом ограничений, накладываемых особенностями эксплуатации систем ЖАТ на конкретных участках и методами планирования работ по техническому обслуживанию, а также создана методика обоснования рациональных сроков проведения капитальных ремонтов стрелочных электроприводов с учетом скорости расходования их технического ресурса.

5. Разработана методика назначения сроков технического обслуживания стыковых рельсовых приварных соединителей в зависимости от величины их технического ресурса. Определено, что для стальных рельсовых приварных соединителей, разработанных с участием диссертанта, периодичность технического обслуживания можно увеличить в два раза по сравнению с периодичностью обслуживания медных соединителей и принять ее равной один раз в два месяца.

6. Разработаны способ для поэлементного диагностирования состояния токопроводящих рельсовых стыков и устройство, реализующее разработанный способ, а также устройство, обеспечивающее возможность измерения асимметрии обратного тягового тока в любой точке рельсовой линии. По ним поданы заявки на изобретения.

7. На основании проведенных расчетов с использованием численных данных ВСЖД найдено, что применение предлагаемой периодичности технического обслуживания стальных стыковых рельсовых приварных соединителей обеспечивает годовой экономический эффект порядка 560 тыс. руб. в масштабах одной дороги.

8. Суммарный экономический эффект за шесть лет после начала массового внедрения стальных стыковых рельсовых приварных соединителей, разработанных с участием диссертанта, на участках с электротягой переменного тока ВСЖД составил величину порядка 4790 тыс. руб.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях.

1. Обеспечение надежности токопроводящих элементов рельсовой линии при электротяге переменного тока / В.И. Шаманов, В.В. Косякин, Г.С. Березовский, А.В. Пультяков // Автоматика, связь, информатика. 2002. – № 12. – С. 28 – 32.

2. Пультяков А.В. Расходование ресурса стрелочных электроприводов // Перспективные технологии и технические средства управления перевозками на железнодорожном транспорте: Междунар. межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. проф. Л.В. Пальчика. – Ростов н/Д: РГУПС, 2001. – С. 83 – 86.

3. Пультяков А.В., Диденко А.И. Долговечность стальных стыковых соединителей // Транспортные проблемы сибирского региона. Сб. науч. тр. – Иркутск: ИрИИТ, 2001. – Ч. 1. – С. 76 – 78.

4. Пультяков А.В. Пути совершенствования организации технического обслуживания устройств СЦБ на малоделятельных участках // Транспортные проблемы сибирского региона. Сб. науч. тр. – Иркутск: ИрГУПС, 2003. – Ч. 1. – С. 128 – 130.

5. Пультяков А.В. Марковские процессы при исследовании состояний объектов в задачах надежности // Актуальные проблемы развития средств железнодорожной автоматики и телемеханики и технологий управления движением поездов. Междунар. межвуз. сб. науч. тр. – Ростов н/Д: РГУПС, 2004. – С. 56 – 62.

6. Пультяков А.В., Левит М.А. Влияние скорости расходования ресурса на периодичность капитальных ремонтов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием:– Красноярск: Изд-во «Гротеск», 2005. – Т. 2. – С. 160 – 164.

