

На правах рукописи



ЯКОБЧУК Артём Игоревич

**УСТРОЙСТВО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ТОКОПРОВОДЯЩИХ СТЫКОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА СТАНЦИЯХ**

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2011

Работа выполнена в Самарской академии государственного и муниципального управления на кафедре Математических методов и информационных технологий.

Научный
руководитель:

доктор технических наук, профессор
Тарасов Евгений Михайлович,
Самарская академия государственного
и муниципального управления

Официальные
оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Ясовеев Васих Хаматович,
кафедра информационно-измерительной
техники Уфимского государственного
авиационного технического университета

кандидат технических наук, доцент
Куров Михаил Борисович,
кафедра автоматизации, телемеханики и
связи на железнодорожном транспорте
Самарского государственного
университета путей сообщения

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «1» июля 2011 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу:

450000, г. Уфа, ул. Карла Маркса, д. 12, корпус 1, акт. зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «30» мая 2011 года.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять в диссертационный совет Д 212.288.02 по адресу: 450000, Уфа-центр, ул. Карла Маркса, д. 12, УГАТУ.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



В.С. Фетисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Основными техническими средствами, обеспечивающими автоматическое регулирование и безопасность движения поездов, являются устройства автоматики и телемеханики. Надежная работа этих устройств исключает неоправданную задержку поездов, что позволяет значительно улучшить качество всего технологического процесса перевозок.

Анализ процессов технического обслуживания этих устройств, как замкнутой динамической системы управления качеством, подтверждает отсутствие в этом процессе оперативного информационного звена, обеспечивающего формирование необходимой информации для принятия правильных решений в сложных условиях эксплуатации. Как показывает опыт, обслуживающий персонал, не имея должных рекомендаций и инструкций по локализации отказов, тратит неоправданно много времени на поиск и устранение неисправностей.

С учетом того, что для нормального хода процесса регулирования движения поездов необходимо до минимума исключить отказы и сбои в работе эксплуатируемых устройств автоматики и телемеханики, то становится очевидным и другое важное требование – обеспечение прогнозирования отказов. Это требование особо важно для диагностирования и прогнозирования сопротивления токопроводящих стыков (ТПС) – элементов рельсовых цепей, отказы которых составляют 15% из всего потока отказов станционных систем автоматики и телемеханики.

В связи с этим возникает настоятельная необходимость в создании автоматической системы контроля и диагностирования сопротивлений ТПС.

Решить такой комплекс сложных задач представляется возможным на базе использования теории, методов и способов функциональной диагностики. Базируясь на объективных факторах в оценке состояния токопроводящих стыков, теория и практика технической диагностики обеспечивают своевременное выявление неисправностей и создают возможность для оперативного их устранения, а также прогнозирования состояний ТПС. Особенность технического диагностирования ТПС состоит в том, что они рассредоточены вдоль железнодорожного пути на большие расстояния, помимо этого они находятся в непрерывном (круглосуточном) режиме эксплуатации, и не допускают ни малейших перерывов в работе, следовательно, при техническом диагностировании токопроводящих стыков станционных рельсовых цепей следует учитывать и то обстоятельство, что они интегрированы в информационно-управляющий комплекс, регулирования движением поездов и обеспечения безопасности перевозочного процесса.

Крупный вклад в создание и развитие теории и практики технического диагностирования состояния устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики внесли известные ученые: Брылеев А.М., Лисенков В.М., Кравцов Ю.А., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Дмитренко И.Е., Тарасов Е.М., Шалягин Д.В., Алексеев В.М., Лунев С.А., Белоногов А.С. и другие.

С учетом того, что разработанные устройства автоматики и телемеханики не предназначены для использования в автоматизированных системах диагностики, они ориентированы на применение ручной технологии, что не удовлетворяет требуемой глубине диагноза, необходимо разработать такие модели диагностирования, которые обеспечивали бы возможность непрерывной функциональной диагностики.

В связи с этим, разработка устройства функционального диагностирования (УФД) токопроводящих стыков станционных рельсовых цепей, является актуальной проблемой, которой и посвящена настоящая диссертация.

Целью диссертационной работы является разработка и реализация устройства функционального диагностирования сопротивления токопроводящих стыков.

Для достижения указанной цели в диссертации поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Обоснование необходимости разработки устройства функционального диагностирования сопротивлений ТПС посредством причинно-следственного анализа отказов элементов станционных рельсовых цепей.

2. Выбор и обоснование множества информативных признаков для диагностирования, разработка математических моделей информативных признаков состояний токопроводящих стыков.

3. Исследование различных моделей рельсовых цепей с изменяющимися сопротивлениями ТПС и установление диапазона изменения информативных признаков при различных сопротивлениях ТПС.

4. Разработка методики восстановления диагностирующей функции токопроводящих стыков, с оценкой погрешности определения сопротивлений ТПС.

5. Разработка устройства функциональной диагностики ТПС и его внедрение в существующее устройство контроля состояний рельсовых линий.

Достоверность научных положений обоснована соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований и работоспособностью разработанных технических решений в эксплуатационных условиях.

Методика исследования. В работе использованы основные положения теории распознавания образов, теории матриц, теории функции комплексных переменных, теории электрических цепей, численное моделирование. Расчеты выполнялись с использованием ЭВМ на базе пакетов анализа Mathcad 13. Схемы замещения рельсовых цепей выполнены с использованием основных положений теории четырехполюсников и линий с распределенными параметрами.

Научная новизна. В диссертационной работе решен комплекс задач, связанных с разработкой и реализацией устройства функциональной диагностики состояний токопроводящих стыков:

1. Получены математические модели информативных признаков, характеризующих состояния ТПС, позволяющие получить аналитические зависимости между напряжениями и токами и их фазовыми соотношениями на входе и на каждом из выходов всех участков контроля по маршрутам диагностики разветвленной станционной рельсовой цепи. Показана возможность использования выбранного набора первичных информативных признаков для диагностики сопротивлений ТПС.

2. Разработаны математические модели с дискретно-распределенными параметрами рельсовых линий, позволившие выделить составляющую сопротивления токопроводящего стыка из обобщенного сопротивления рельсовой линии. Модели, в отличие от существующих моделей рельсовых линий с равномерно распределенными параметрами, представлены в виде произведения матриц четырехполюсников рельсовых линий малой длины с распределенными параметрами и четырехполюсников токопроводящих стыков с сосредоточенными параметрами.

3. Впервые предложена методика восстановления диагностирующей функции по выборкам ограниченного объема, обеспечивающей погрешности диагностирования, не превышающие заданной.

4. На основе сформированного множества информативных признаков, полученной диагностирующей функции, предложен принцип построения УФД, выполняющего функции: мониторинга электрических параметров рельсовых цепей, диагностики сопротивлений токопроводящих стыков, определения координаты места нахождения стыка с изменившимся сопротивлением, автоматического протоколирования динамики и событий.

Основные положения, выдвигаемые на защиту:

- математические модели информативных признаков, позволяют получить аналитические зависимости между напряжениями и токами и их фазовыми соотношениями на входах и выходах всех участков контроля по маршрутам диагностики разветвленных станционных рельсовых цепей в зависимости от изменения сопротивления изоляции рельсовых линий. Моделированием определены предельные значения информативных

признаков при изменении сопротивления изоляции рельсовых линий в диапазоне от 0,1 до 50 Ом·км.;

- математические модели информативных признаков с дискретно-распределенными параметрами (DRL – модель) рельсовых линий, позволили выделить составляющую сопротивления ТПС из обобщенного сопротивления рельсовой линии и определить граничные значения сопротивления токопроводящих стыков. С помощью моделирования определено, что минимальное значение сопротивления, при котором сохраняется нормальное функционирование, $Z_{ст \min} = 700 \times 10^{-6} \text{ Ом}$, а максимальное – $Z_{ст \max} = 0,4 \text{ Ом}$;

- методика восстановления диагностирующей функции позволила определить объем ограниченной выборки значений сопротивлений стыков и получить семейство диагностирующих функций, обеспечивающих требуемую погрешность диагностирования сопротивления ТПС, $\delta(Z_i) \leq 10\%$;

- технически реализованное устройство функционального диагностирования сопротивлений токопроводящих стыков обеспечивает диагностику всех токопроводящих стыков по всем маршрутам диагностики, протоколировать и архивировать значения сопротивлений, позволяет локализовать место повышенного сопротивления и информировать обслуживающий персонал о предотказном состоянии ТПС.

Практическая ценность работы. На основании проведенных исследований разработано и реализовано устройство функционального диагностирования сопротивления токопроводящих стыков с определением величины и места расположения стыка с измененным сопротивлением, прогнозировать появление постепенных неисправностей, которые могут найти применение в нижнем уровне системы диагностики и прогнозирования состояний устройств автоматики и телемеханики железных дорог, включая станции.

Полученные в диссертационной работе научные результаты позволили сформировать новый способ определения состояния рельсовой линии (Патент № 2333126), а также реализовать устройство, с расширенными функциональными возможностями (Патент № 2340499).

Реализация результатов работы осуществлена путем внедрения экспериментального образца устройства функциональной диагностики токопроводящих стыков станционных рельсовых линий на опытном полигоне Южно-Уральской железной дороги, а также в систему электрической централизации станционных путей ОАО «Газпромтранс».

Результаты работы используются в учебном процессе Самарского государственного университета путей сообщения при чтении лекций по таким дисциплинам как «Теория дискретных устройств автоматики и телемеханики» и «Основы теории надежности», а также при выполнении

лабораторной работы в курсе дисциплины «Микроэлектронные системы станционной автоматики и телемеханики».

Апробация работы. Основные положения и отдельные результаты диссертационного исследования нашли свое отражение в работе научных и научно-практических конференций различного уровня, в числе которых: XXXV научная конференция студентов и аспирантов (Самара, 2008); Десятая конференция студентов и аспирантов (Самара, 2009); Межвузовская научно-практическая конференция «Математическое моделирование, численные методы и информационные технологии» (Самара, 2009); XI научная конференция студентов и аспирантов (Самара, 2010); III Всероссийская научно-практическая конференция «Наука и образование транспорту» (Пенза, 2010); XI научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов» (Москва, 2010); Международная конференция «Инновации для транспорта» (Омск, 2010). Одновременно с этим, основные положения и результаты проведенного исследования докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры математических методов и информационных технологий САГМУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 3 – в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК Минобрнауки России для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, получено три патента и два свидетельства на программный продукт.

Структура и объем работы. Диссертационное исследование состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Материалы диссертации изложены на 138 страницах основного текста, содержат 48 иллюстраций, 10 таблиц, 15 приложений. Библиографический список включает в себя 92 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, приведены основные результаты, полученные в диссертации и выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ отказов и выполнен обзор существующих методов и систем диагностики состояний железнодорожной автоматики и телемеханики.

Станционные системы автоматики и телемеханики (ССАТ), относятся к классу сложных диагностируемых систем, характеризующиеся иерархической структурой, при которой отказ любого уровня, как правило, приводит в целом к сбоям и нарушению алгоритма функционирования системы, что значительно снижает эффективность функционирования ССАТ,

выполняющих не только функции управления и контроля, но и обеспечивающих **безопасность** движения поездов.

В последние годы количество отказов, допущенных ССАТ, составляет 55,5%, а по перегонным системам – 40,4% общего количества и характер отказов сохраняется.

Основными причинами значительного количества отказов устройств ССАТ по годам является физический износ и моральное старение устройств, что значительно повышает угрозу безопасности движения поездов.

Анализ потока отказов основных устройств автоматики и телемеханики показывает, что около 30% отказов всех устройств автоматики и телемеханики приходится на рельсовые цепи. Это объясняется тяжелыми условиями их эксплуатации, вследствие значительных нагрузок (увеличение нагрузки на ось подвижного состава с 25 до 30 т), колебаний температуры и влажности окружающей среды, интенсивного засорения балластного материала сыпучими грузами и др.

Динамика отказов станционных систем автоматики и телемеханики по элементам в период 2004-2009 гг. распределяется практически одинаково по годам, то есть применяемые организационно-технические мероприятия не достаточно эффективны.

Данный факт связан с тем, что работа по ремонту и обслуживанию ССАТ построена по принципу устранения уже допущенного отказа с последующим исследованием и выявлением причины отказа.

Анализ интенсивности отказа элементов станционных рельсовых цепей и времени восстанавливаемости показывает, что их сокращение по годам идет медленно, при этом 67% времени затрачивается на проследование к месту неисправности и ее устранение, а 33% на поиск неисправности. Среднее время восстановления является многофакторной величиной, и в течение года может изменяться в 1,5-3 раза при диапазоне времени изменения, соответственно от 0,6 до 4,2 ч.

При техническом диагностировании элементов рельсовых цепей (токопроводящих стыков), следует учитывать и то обстоятельство, что они интегрированы в комплекс станционных систем управления технологическим процессом и находятся в непрерывной работе.

На рисунке 1 представлена структурная схема процедуры технического диагностирования ССАТ.

В процессе определения состояния устройств автоматики и телемеханики решаются следующие задачи:

- 1 задача – контроль технического состояния соответствующих значений параметров объекта контроля (X_T) номинальным – требуемым значениям:

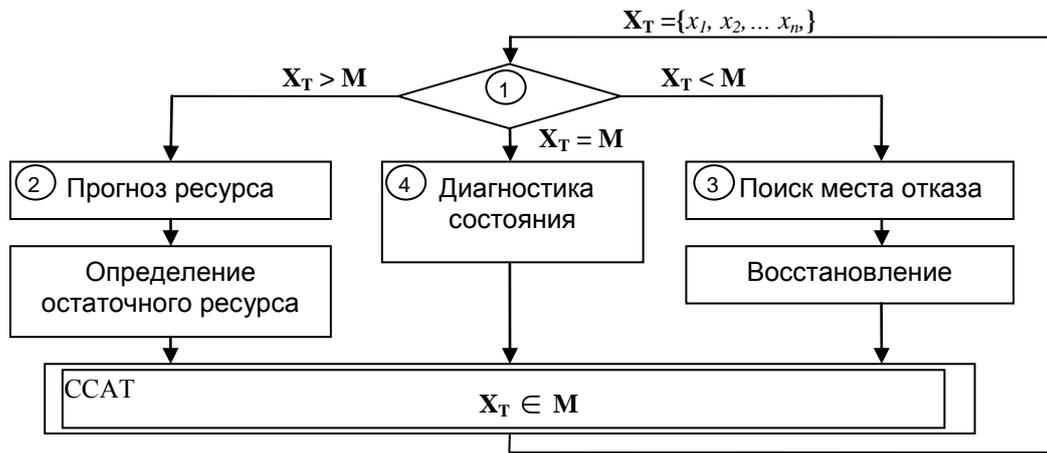


Рисунок 1 – Структурная схема процедуры определения состояния ССАТ: M – пространство исправного состояния; X_T – текущее состояние.

- Если контролируемое устройство находится в исправном состоянии ($X_T > M$), то решается задача 2, то есть осуществляется прогноз ресурса устройства и определяется остаточный ресурс.

- Если контролируемое устройство находится в неисправном состоянии ($X_T < M$), то решается задача 3, то есть осуществляется поиск места отказа и восстановление работоспособности устройства контроля.

- Если контролируемое устройство находится в предельном состоянии ($X_T = M$), то решается задача 4, то есть осуществляется диагностика состояний объекта.

Учеными ПГУПС и УрГУПС разработана универсальная система мониторинга и технической диагностики. Модули, входящие в его состав осуществляют измерения аналоговых сигналов от объектов, контроль и управление дискретными объектами, и передачи информации для отображения в реальном времени на мониторе.

Следующая структура системы диагностирования и контроля разработана специалистами НПП «Югпромавтоматизация». Комплекс непрерывно диагностирует устройства автоматики и телемеханики, программной обработкой поступающей информации, регистрирует сбои и отказы в работе технических средств с определением их причин, а также взаимодействует с системой верхнего уровня.

Автоматизированным средством мониторинга и диагностирования состояний ССАТ нового поколения является разработанный специалистами института «Гипротрансигналсвязь» аппаратно-программный комплекс автоматизированного рабочего места электромеханика электрической централизации, реализующий комплекс функций контроля поездного положения и диагностики состояний устройств СЦБ.

В подавляющем большинстве системы технической диагностики на сети железных дорог являются по своей сути системами телеизмерений и

телеконтроля, так как алгоритмы работы этих систем не позволяют обеспечить локализацию места отказа напольных устройств и их элементов, обнаружить конкретный отказавший элемент и определить оставшийся ресурс.

Во второй главе разработаны математические модели объекта диагностирования, выбрано множество информативных признаков, исследована их информативность.

Математическая модель рельсовой цепи, как объекта подлежащего диагностированию и мониторингу сопротивлений ее токопроводящих стыков должна отражать в той или иной мере процессы, протекающие в ее элементах, с учетом ограничений, существующих в реальных условиях, в виде отдельных признаков состояний x_i , составляющих образы состояний X_i . Весьма важным в этом случае является принадлежность каждого информативного признака x_i к определенному классу M_i состояний $x_i \in M_i$.

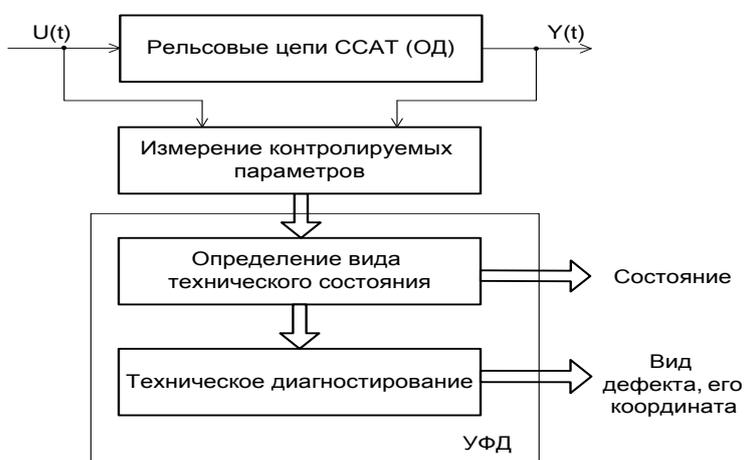


Рисунок 2 – Структура процедуры мониторинга и диагностики ССАТ

Применительно к мониторингу и диагностике состояний рельсовых цепей в качестве информативных признаков эффективно использовать рабочие параметры рельсовых цепей, а именно: амплитуды и фазы напряжений на выходе рельсовой линии, а также дополнительные признаки состояний, позволяющие увеличить глубину диагностирования - амплитуды и фазы напряжения и тока на входе рельсовой линии. Тогда, множества образов, формируемых при указанных 6 признаках, имеют вид:

$$m_j = \{1_j, \varphi_{1_j}, I_{1_j}, \psi_{1_j}, U_{2_j}, \varphi_{2_j}\}, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$m_{pk} = \{1_p, \varphi_{1_p}, I_{1_p}, \psi_{1_p}, U_{2_p}, \varphi_{2_p}\}, \quad k = 1, 2, \dots, \ell,$$

$$m_{Ni} = \{1_N, \varphi_{1_N}, I_{1_N}, \psi_{1_N}, U_{2_N}, \varphi_{2_N}\}, \quad i = 1, 2, \dots, q,$$

где $n \neq \ell \neq q$; m_j - класс исправного состояния стыковых соединителей; m_{pk} - класс предотказного состояния стыковых соединителей; m_{Ni} - класс неисправного состояния стыковых соединителей.

Разработка математических моделей порождения диагностических признаков стационарных рельсовых цепей в работе осуществлена методикой редукции импедансных параметров четырехполюсников рельсовых линий и элементов рельсовых цепей. Сущность методики заключается в последовательном определении входных параметров нагруженных четырехполюсников, начиная с релейных концов, нагруженных на обмотки контрольных реле:

$$Z_v = F \left\{ Z_{v_i}(\Theta_i), Z_{v_j}(P_j), \dots, Z_{v_k}(Y_k) \right\}, \quad i, p, \dots, k \in M, \\ \Theta_i = \|A_i\|, \quad P_j = \|A_j\|, \quad Y_k = \|A_k\|, \quad (1)$$

где $\|A_i\|$, $\|A_j\|$, $\|A_k\|$, - параметры четырехполюсников рельсовых линий, и формированием математических моделей с использованием входных параметров.

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_j &= F \left\{ Z_{vj}, r_j(t), z_k(t), \ell, f \right\}, \quad j \in \overline{1, h} \\ \bar{I}_j &= F \left\{ Z_{vj}, r_j(t), z_k(t), \ell, f \right\}, \quad j \in \overline{1, h} \\ z_k(t), \quad \forall k &\in \overline{min, max} \\ r_j(t), \quad \forall j &\in \overline{min, max} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Уравнения математических моделей (2) разработанные в работе являются универсальными моделями, позволяющими исследовать значения токов и напряжений во всех узлах схемы стационарных рельсовых цепей, но из-за того, что они по классической схеме замещения включают в себя четырехполюсники рельсовых линий с равномерно-распределенными параметрами, включающими распределенные сопротивления рельсовых стыковых соединителей, их использование затруднительно при исследовании влияния на информативные признаки - входные и выходные параметры рельсовых цепей изменения сопротивления токопроводящих стыков. Поэтому для исследования влияния изменения сопротивления токопроводящих стыков на выходные параметры рельсовых цепей необходимо в математических моделях обособленно выделить сопротивления токопроводящих стыков, а для этого необходимо схему замещения рельсовых линий с одним четырехполюсником заменить на n – элементарных четырехполюсников, а именно: звена рельсовой линии с равномерно распределенными параметрами (RRL) и токопроводящего стыка с дискретно распределенными параметрами (DRL). Такое представление модели рельсовой линии позволяет исследовать влияние диагностируемого параметра – сопротивления токопроводящего стыка на информативные признаки в условиях изменения возмущения в виде флуктуации сопротивления изоляции рельсовых линий в широком диапазоне. При этом необходимо обеспечить математическое подобие RRL и DRL – моделей рельсовых линий.

В диссертационной работе проверка адекватности моделей осуществлена исследованием изменения информативных признаков $m = \{1, \varphi 1, I1, \psi 1, U 2i, \varphi 2i\}$, $i = 1, 2, 3$, при исправных стыковых соединителях с помощью математических моделей рельсовых линий с RRL и DRL параметрами и сравнением результатов.

Результаты проведенного моделирования показали, что максимальная относительная погрешность моделирования разработанной DRL – моделью составляет не более 1,5%. Это, констатирует факт адекватности разработанной DRL – модели и известной RRL – модели, и подтверждает возможность исследования информативных признаков DRL – моделью при формировании области существования информативных признаков исследуемой рельсовой линии.

На основе разработанных универсальных моделей информативных признаков m_i , написана программа формирования массивов признаков с использованием пакета Mathcad и проведено исследование информативности признаков. Результаты анализа показали, что наибольшей чувствительностью к изменению сопротивления стыка обладают напряжения и их фазы относительно питающего напряжения на выходном конце каждого ответвления, и, соответственно, динамический диапазон изменения напряжений и фаз по ответвлениям составляет: $K_{du21} = 3,48$; $K_{d\varphi 21} = 6,77$; $K_{du22} = 3,15$; $K_{d\varphi 22} = 3,23$; $K_{du23} = 3,52$; $K_{d\varphi 23} = 15,25$.

Глава 3 посвящена разработке методики восстановления диагностирующей функции и исследованию качества диагностирования сопротивлений токопроводящих стыков восстановленными функциями.

В общем случае, основным назначением системы диагностирования является отыскание решений о принадлежности предъявляемых диагностике образов к некоторому классу реальных состояний, а для того, чтобы осуществить это, необходимо ввести правила, на которых искомые решения будут основываться.

Так как маршрутов диагностирования станционных рельсовых цепей множество, классы ТПС получаются громоздким, и задача «обучения» диагностирующей функции становится неразрешимой из-за противоречивых требований и условий, при которых эксплуатируются ТПС.

В связи с этим, маршрут диагностирования удобно разделить на подклассы, в виде участков контроля, а в пределах подклассов выделить таксоны в виде отдельных ТПС. Такое разделение позволяет использовать множество диагностирующих функций, индивидуальных для каждого ТПС, с n-сегментами сопротивлений.

Среди различных способов задания решающих правил наиболее предпочтительно формирование правила с использованием диагностирующей функции, которая задает описание классов состояний на

языке признаков: диагностирующие функции $d_i(Z)$, $i=1,2,\dots,m$ принимают максимальные значения только на образах (сегментах) своего класса, то есть если $d_i(Z) > d_j(Z)$, $\forall j=1,2,\dots,m, j \neq i$, то $Z_i \in M_i$, и наоборот. Решающее правило в этом случае записывается следующим образом:

$$Z_i \in M_i, \text{ если } d_i(Z) = \max_{1 \leq j \leq m} d_j(Z).$$

Диагностирующую функцию удобно представлять в виде линейной суммы с коэффициентом с нулевым индексом k_0 :

$$d(Z_i) = \sum_{i=0}^n k_i x_i, \quad i=1,2,\dots,n, \quad (3)$$

где $x_i = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - пополненный вектор информативных признаков.

Для восстановления диагностирующей функции сопротивлений токопроводящих стыков, сформированное пространство информативных признаков записывается в виде матрицы состояний:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} U_{11} & \phi_{12} & I_{13} & \Psi_{14} & U_{215} & \phi_{216} & U_{217} & \phi_{218} & U_{219} & \phi_{220} \\ U_{221} & \phi_{222} & I_{223} & \Psi_{224} & U_{225} & \phi_{226} & U_{227} & \phi_{228} & U_{229} & \phi_{230} \\ \dots & \dots \\ U_{n1} & \phi_{n2} & I_{n3} & \Psi_{n4} & U_{n5} & \phi_{n6} & U_{n7} & \phi_{n8} & U_{n9} & \phi_{n0} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $U_1, \phi_1, I_1, \Psi_1, U_{2i}, \phi_{2i}$ - значения амплитуд и фаз напряжений и токов на входе станционной рельсовой цепи и напряжений и фазы на её выходах ($i=1,2,3$); $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$ - сегменты сопротивлений ТПС.

Уравнения диагностирующей функции ТПС восстанавливаются с использованием данных матрицы (4) соотношением:

$$\mathbf{K} = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Z},$$

где \mathbf{X}^T - транспонированная матрица \mathbf{X} ; \mathbf{C}^{-1} - обратная матрица произведения $\mathbf{C} = \mathbf{X}^T \mathbf{X}$, равная $\mathbf{C}^{-1} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$.

В результате получим единственную восстановленную по данным, полученным в результате математического моделирования диагностирующую функцию, имеющую минимальную погрешность диагностирования. Для случая шестимерных образов $\mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \text{ и } x_6)^T$ диагностирующая функция представляется в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}(\mathbf{X}) = & k_0 + k_1 U_1 + k_2 \phi_1 + k_3 I_1 + k_4 \psi_1 + k_5 U_{2i} + k_6 \phi_{2i} + k_7 U_1^2 + k_8 \phi_1^2 + \\ & + k_9 I_1^2 + k_{10} \psi_1^2 + k_{11} U_{2i}^2 + k_{12} \phi_{2i}^2 + k_{13} U_1 \phi_1 + k_{14} U_1 I_1 + k_{15} U_1 \psi_1 + \\ & + k_{16} U_1 U_{2i} + k_{17} U_1 \phi_{2i} + k_{18} \phi_1 I_1 + k_{19} \phi_1 \psi_1 + k_{20} \phi_1 U_{2i} + k_{21} \phi_1 \phi_{2i} + \\ & + k_{22} I_1 \psi_1 + k_{23} I_1 U_{2i} + k_{24} I_1 \phi_{2i} + k_{25} \psi_1 U_{2i} + k_{26} \psi_1 \phi_{2i} + k_{27} U_{2i} \phi_{2i}. \end{aligned} \quad (5)$$

С использованием математического пакета Mathcad и разработанной процедуры формирования диагностирующих функций восстановлено семейство индивидуальных диагностирующих функций для всех сегментов подклассов маршрутов диагностирования.

Результаты исследования восстановленных диагностирующих функций подтвердили правильность разработанной методики, и оказалось, что максимальная погрешность наблюдается при диагностировании ТПС в области малых значений сопротивлений $\delta(Z_{i_{max}}) = 7,943\%$, расположенных ближе к источнику сигнала опроса рельсовых линий, а минимальная погрешность $\delta(Z_{i_{min}}) = 0,869\%$ у ТПС, расположенных на выходе участках контроля, расположенных у контрольных реле.

4 глава посвящена разработке устройства функциональной диагностики сопротивлений ТПС станционных рельсовых цепей.

Исходя из назначения и технических требований, разрабатываемое устройство должно включать подсистемы **безопасного** измерения параметров рельсовых цепей на их входах и выходах, автоматизированного поиска места повреждения и определения величины сопротивления токопроводящих стыков диагностирующими функциями.

На рисунке 3 представлена структурная схема устройства функционального диагностирования ТПС участка станционных рельсовых цепей.

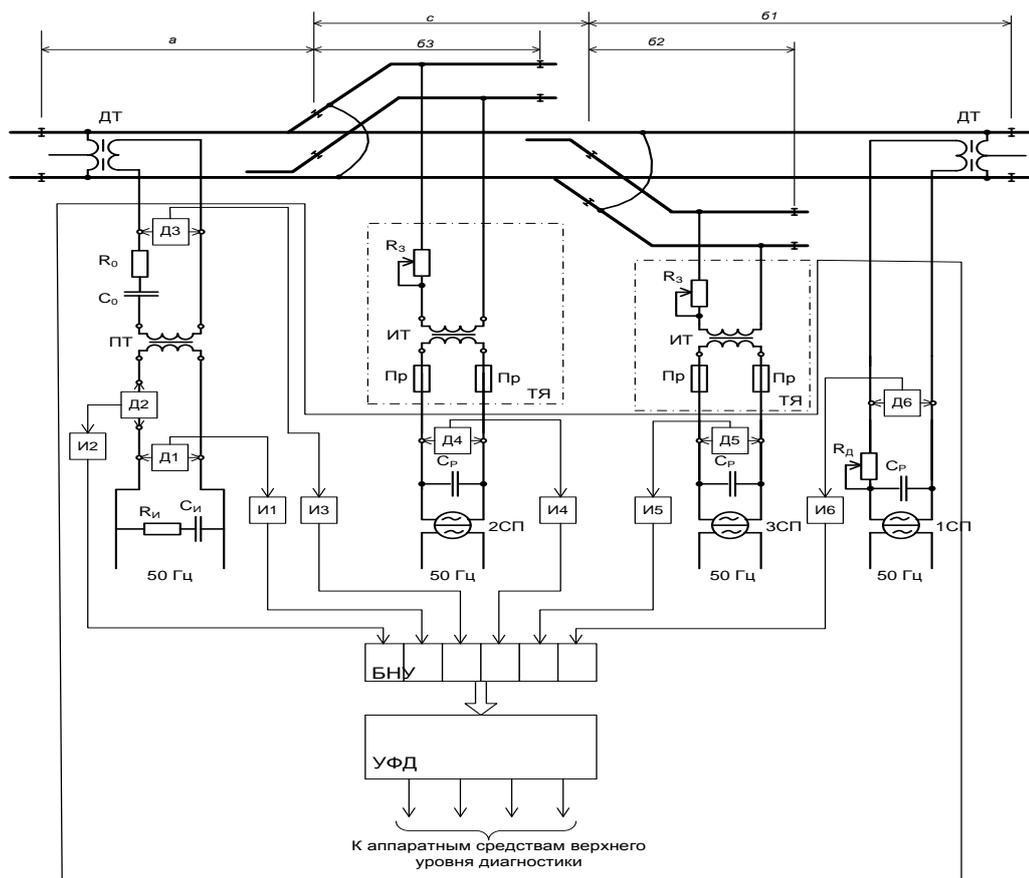


Рисунок 3 – Структурная схема функционального диагностирования ТПС станционных рельсовых цепей:

И – безопасный интерфейс; БНУ – блок нормализации уровней сигналов; 1СП – 3СП – контрольные реле.

Устройство функционального диагностирования (УФД) стационарных рельсовых цепей рассматривается как подсистема нижнего уровня и реализуется как составная часть дорожной системы мониторинга состояния стационарных устройств автоматики и телемеханики, на котором происходит сбор и первичная обработка текущих значений контролируемых параметров стационарных рельсовых цепей, контроль отклонений параметров обмен информацией с верхними уровнями системы.

При создании подсистемы нижнего уровня одной из главных проблем является обеспечение надежного функционирования ее компонент в условиях жестких механических, климатических воздействий: вибраций, ударов, низких температур, и различного рода помех и исключения влияния работы одной рельсовой цепи на другую. Учитывая это, при поиске ключевых компонентов системы, выбор остановился на одноплатном промышленном ЭВМ фирмы Octagon Systems серии Micro PC и плате изолированных аналоговых входов AI16-STB фирмы LAN Automatic с расширителями аналоговых входов AIMUX-32. Использование выбранных компонентов позволило создать систему с широкими функциональными возможностями и внутренней логикой развития.

Экспериментальные исследования разработанного исследования подтвердили правильность основных теоретических положений. Различие теоретических и экспериментальных данных не превышает 10-15%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ отказов элементов рельсовых цепей – устройств контроля состояний рельсовых линий, который показал, что колебание сопротивлений токопроводящих стыков приносит до 15% количества отказов, и современные устройства диагностики не позволяют выявлять изменение сопротивления токопроводящих стыков, из-за того, что по своей сути они являются средствами телеизмерений с незначительной обработкой сигналов.

2. В работе определено множество первичных информативных признаков функционального диагностирования, в качестве основных признаков использованы рабочие выходные параметры, а дополнительные - входные параметры рельсовых цепей, и, следовательно, размерность признакового пространства равна шести: $m_{ij} = \{2, \varphi_2, U_1, \varphi_1, I_1, \psi_1\}$. С помощью математических моделей информативных признаков, разработанных в работе, исследована картина изменения напряжений, токов и их фазовых соотношений в зависимости от изменения сопротивления изоляции. Установлено, что из-за нелинейной зависимости изменения

признаков, диагностировать сопротивление токопроводящих стыков отдельными признаками невозможно.

3. Выделение составляющей сопротивления токопроводящего стыка, из распределенного сопротивления рельсовой линии, осуществлено декомпозицией модели рельсовых цепей с равномерно-распределенными параметрами рельсовых линий на функциональные четырехполюсники токопроводящих стыков и четырехполюсники элементарных участков рельсовых линий с равномерно-распределенными параметрами. Подобие разработанной математической модели прототипу, проверена вычислительным экспериментом, и относительная погрешность модели не превышает 1,5% от прототипа. Исследование информативности к изменению сопротивления токопроводящих стыков, проведенное с помощью разработанной математической модели показали, что наибольшей чувствительностью к изменению сопротивления ТПС обладают напряжения и их фазы на выходном конце каждого ответвления СРЦ и соответственно динамический диапазон изменения признаков по ответвлениям составляет $K_{U_{21}} = 3,48$; $K_{\varphi_{21}} = 6,77$; $K_{U_{22}} = 3,15$; $K_{\varphi_{22}} = 3,23$; $K_{U_{23}} = 3,52$; $K_{\varphi_{23}} = 15,25$, и это подтверждает возможность их использования в диагностирующих функциях.

4. Разработана методика восстановления диагностирующей функции по заданным точкам на основе решения системы несовместных уравнений и множества информативных признаков – аргументов функций, позволила получить семейство диагностирующих функций сопротивлений токопроводящих стыков, отличающихся количеством используемых признаков и сложностью функции.

Проведено компьютерное моделирование функциональной диагностики ТПС восстановленными диагностирующими функциями, которое показало, что максимальная погрешность наблюдается при диагностировании ТПС в области малых значений сопротивлений $\delta(Z_{i_{max}}) = 7,943\%$, расположенных ближе к источнику сигнала опроса рельсовых линий, а минимальная погрешность $\delta(Z_{i_{min}}) = 0,869\%$ у ТПС, расположенных на выходе участках контроля, расположенных у контрольных реле.

5. Предложена структурная схема и технически реализовано устройство функциональной диагностики с использованием входных и выходных параметров рельсовой цепи для определения сопротивления токопроводящих стыков, и места расположения неисправного стыка, а также непрерывного автоматизированного протоколирования событий. Экспериментальный образец устройства внедрен на опытном полигоне Южно-Уральской железной дороги, а также в систему электрической централизации станционных путей ОАО «Газпромтранс».

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, в том числе:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Тарасов Е.М., Горбунов А.Е., Якобчук А.И. Разработка компонентных математических моделей информативных признаков определения скорости // Вестник Самарского муниципального института управления. – Самара: СМиУ, 2008. – № 6. – С. 78-83.

2. Трошина М.В., Якобчук А.И. Разработка математических моделей компенсационного канала инвариантного самонастраивающегося устройства контроля рельсовых линий // Вестник транспорта Поволжья. – Самара: СамГУПС, 2010. – № 4 (24). – С. 58-62.

3. Якобчук А.И. Разработка обучаемого классификатора состояний системы мониторинга первичных параметров рельсовых линий // Вестник Самарского муниципального института управления. – Самара: СМиУ, 2010. – № 4 (15). – С. 115-121.

4. Патент № 2333126 (РФ) Способ контроля свободности рельсовой линии / Полевой Ю.И., Якобчук А.И., Трошина М.В., Ахмадулин Ф.Р. – Заявл. 30.11.2006 г., Оpubл. Б.И., 2008 г., № 25.

5. Патент № 2340499 (РФ) Устройство контроля состояния рельсовой линии / Полевой Ю.И., Якобчук А.И., Трошина М.В. – Заявл. 09.01.2007 г., Оpubл. Б.И., 2008 г., № 34.

6. Патент № 2391241 (РФ) Горочная рельсовая цепь / Тарасов Е.М., Трошина М.В., Моисеев Е.Г., Якобчук А.И. – Заявл. 12.05.2009 г., Оpubл. Б.И., 2010 г., № 16.

Публикации в других изданиях:

7. Якобчук А.И. Рельсовые цепи с микропроцессорным решающим устройством контроля состояния рельсовых линий // Сборник материалов XXXV научной конференции студентов и аспирантов. – Самара: СамГУПС, 2008. – № 9. – С. 104.

8. Якобчук А.И. Разработка информативного датчика систем интервального управления движением поездов // Материалы десятой научной конференции студентов и аспирантов: сб. статей. – Самара: СМиУ, 2009. – С. 17-19.

9. Тарасов Е.М., Трошина М.В., Якобчук А.И. Построение информационного датчика бесконечно малого участка рельсовой линии // Математическое моделирование, численные методы и информационные технологии: сб. статей межвузовской научно-практической конференции. – Самара: СМиУ, 2009. – С. 116-121.

10. Якобчук А.И. Расчет активных параметров трехпроводной схемы замещения рельсовой линии // Материалы XI научной конференции студентов и аспирантов: сб. статей. – Самара: СМИУ, 2010. – С. 131-135.

11. Моисеев Е.Г., Якобчук А.И. Требования к устройствам контроля состояний рельсовых линий // Наука и образование транспорту: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: ПДЗ, 2010. – С. 64-66.

12. Тарасов Е.М., Трошина М.В., Якобчук А.И., Моисеев Е.Г. Принципы разделения пространства образов решающими функциями на классы состояний рельсовых линий // Безопасность движения поездов: труды XI научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2010. – С. VIII-20 – VIII-22.

13. Тарасов Е.М., Трошина М.В., Якобчук А.И., Моисеев Е.Г. Формирование множества признаков распознающих классификаторов состояний рельсовых линий // Инновации для транспорта: сб. науч. статей с международным участием в трех частях. Часть 1. – Омск: ОмГУПС, 2010. – С. 248-253.

14. Исследование работы рельсовой цепи в нормальном режиме. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610248 / Тарасов Е.М., Трошина М.В., Якобчук А.И., Горбунов А.Е. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.12.2008 г.

15. Программа расчета параметров рельсовой цепи при наличии поперечной неоднородности на участке контроля. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613766 / Тарасов Е.М., Трошина М.В., Якобчук А.И., Якобчук Т.В. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.06.2010 г.

Диссертант



А.И. Якобчук

ЯКОБЧУК Артём Игоревич

Устройство функционального диагностирования токопроводящих стыков
для систем управления технологическими процессами на станциях

05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники
и систем управления

Подписано в печать 30.05.2011. Формат 60x84/16

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз.

Печать оперативная.

Отпечатано на полиграфическом оборудовании издательства

«Самарский муниципальный институт управления»

443084, г. Самара, ул. Вольская, д. 40