

На правах рукописи



ГОРБУНОВ Алексей Евгеньевич

**УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ И СКОРОСТИ
ОТЦЕПОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ НА ТРАНСПОРТЕ**

**Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Самара 2008

Работа выполнена в Самарском государственном университете путей сообщения на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Тарасов Евгений Михайлович

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
Ясовеев Васих Хаматович

кандидат технических наук, доцент

Волик Вадим Григорьевич

Ведущая организация Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования «Омский государственный
университет путей сообщения»

Защита состоится «13» марта 2009г. в 10:00 на заседании
диссертационного совета Д 212.288.02 при Уфимском государственном
авиационном техническом университете по адресу: 450000, Уфа – центр,
ул. Карла Маркса, 12, УГАТУ

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

Автореферат разослан «21» января 2009 года.

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

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Г.Н. Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Решение стратегической задачи повышения эффективности работы железнодорожного транспорта, увеличения пропускной и провозной способности железных дорог невозможно без их оснащения современными техническими средствами. В этой связи сортировочная горка является одним из первоочередных объектов автоматизации, который в значительной степени определяет эффективность и показатели качества перевозочного процесса.

Сортировочные горки, являясь важнейшим и основным технологическим звеном в сортировочном процессе, должны обеспечивать распределение свободно скатывающихся вагонов (отцепов) по путям подгорочного парка и регулирование скоростей их движения на спускной части. В связи с этим, на всех уровнях развития горочной техники и технологии, автоматизация процессов управления маршрутами движения отцепов и регулирования скоростей скатывания, с учетом необходимых интервалов и дальности пробега, является первоочередной задачей.

Несмотря на то, что в области определения скорости отцепов на спускной части сортировочной горки накоплен значительный опыт, существующие устройства строятся, как правило, с использованием точечных датчиков электронно-педального типа, имеющих невысокую надежность и большую погрешность, или с использованием радиолокационных скоростемеров, которые из-за воздействия возмущающих факторов в виде побочных отражений сигнала от отцепов, движущихся по соседним путям в зоне действия датчиков, вызывающих глубокие флуктуации входного сигнала по длительности и амплитуде, имеют большие погрешности измерения скорости. Кроме того, существующие устройства определяют скорость отцепа в определенных зонах спускной части сортировочной горки, и, следовательно, невозможно определить скорость отцепа непрерывно, по всей траектории движения отцепа, что важно при глубокой автоматизации процесса роспуска составов.

Таким образом, до настоящего времени не созданы устройства определения скорости отцепов, в полной мере отвечающие потребностям железных дорог. Поэтому создание нового устройства определения скорости отцепов на спускной части сортировочных горок, обеспечивающего инвариантность к возмущающим воздействиям, обладающего высокой точностью определения скорости, позволяющего определять и контролировать скорость отцепов по всей траектории движения и оперативно предоставлять информацию о динамике движения отцепа для систем управления скоростью

ропуска составов на горках, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

Диссертационная работа выполнялась согласно: «Программе реализации основных направлений развития и социально-экономической политики железнодорожного транспорта на период до 2005 года» (утвержденной МПС от 04.03.1997г. № А-276у); «Перечню основных проблем железнодорожного транспорта для первоочередного финансирования научных исследований» (утвержденному МПС от 26.12.2002г. № Я-1272у); «Концепции развития средств железнодорожной автоматики и телемеханики на период 2000-2004 гг.» (утвержденной МПС от 06.08.2001г. №-1379у).

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы является разработка и исследование устройства определения координаты и скорости отцепов на спускной части сортировочной горки, нечувствительного к возмущающим факторам, с расширенными функциональными возможностями.

Исследования проведены, применительно к сортировочным горкам, оборудованным электрическими рельсовыми цепями и механизированными вагонными замедлителями.

Для достижения данной цели был поставлен комплекс задач:

- проведение анализа методов и алгоритмов регулирования скорости отцепов на основе информации о текущей скорости отцепов на спускной части сортировочных горок;
- разработка математических моделей рельсовых цепей, функционирующих на повышенных частотах в различных режимах (свободное, занятое), для выявления наиболее информативных признаков, характеризующих динамику изменения состояний рельсовых линий;
- разработка структуры первичного датчика определения координаты и скорости отцепов, нечувствительного к воздействию возмущающих факторов;
- разработка методики синтеза решающей функции вычислителя координат отцепов с использованием множества информативных признаков;
- техническая реализация устройства определения скорости отцепов на спускной части сортировочной горки и внедрение его в комплекс систем автоматического управления скорости отцепов.

Методы исследования. Методологической основой и общетеоретической базой исследования является принцип системного анализа процессов принятия решений по состоянию элементарного контрольного участка на основе выбранных информативных признаков и решающих функций, а также анализа и синтеза схем, функционального и математического анализа, теории электрических цепей, распознавания образов.

Для разработки моделей применялись методы математического моделирования на ЭВМ с использованием программного пакета Mathcad с проверкой полученных результатов, путем сравнения с экспериментальными исследованиями распространения сигналов по рельсовым линиям, опубликованными в открытой печати.

Научная новизна:

1) разработаны новые принципы построения устройства определения координаты и скорости отцепа на спускной части сортировочной горки, основанные на многопараметрической оценке динамики изменения координаты отцепа, что позволило обеспечить нечувствительность к изменению основного дестабилизирующего параметра-сопротивления изоляции рельсовых линий;

2) разработаны математические модели рельсовых цепей высокой частоты, дополнительно учитывающие повышенное сопротивление шунтирования рельсов отцепами, что позволило получить выражения напряжений и токов на входе рельсовой линии и выявить наиболее информативные сочетания признаков, характеризующих динамику изменения состояний рельсовых линий при передвижении по ним отцепов;

3) предложена методика синтеза решающей функции вычислителя координаты и скорости отцепа на основе принципов распознавания образов, позволившая с помощью множества информативных признаков определить координату отцепа в любой точке траектории движения отцепа и по динамике изменения координаты определить скорость отцепа.

Основные положения работы, выдвигаемые на защиту:

- новый способ определения координаты отцепа, базирующийся на основополагающих принципах распознавания образов и основанный на использовании множества информативных признаков, характеризующих динамику изменения состояния рельсовой линии, позволяющий обеспечить минимальную погрешность определения координаты отцепов при длине ЭКУ – 12,5 м, $\delta_{\max} = 0,9\%$, а при длине ЭКУ – 25 м, $\delta_{\min} = 5,7\%$.

- математические модели рельсовой цепи элементарного контрольного участка с четырехполюсной схемой замещения и комплексным повышенным сопротивлением шунтирования колесными парами отцепов рельсовых линий, позволяющие проанализировать изменения напряжений и токов, а также их фазовые соотношения на входе рельсовой линии элементарного контрольного участка с учетом изменения сопротивления изоляции и координаты отцепа;

- методика синтеза решающей функции с аргументами – множеством признаков, зависящих от координаты отцепа, позволившая получить ряд решающих функций, нечувствительных к изменению сопротивления изоляции рельсовых линий в диапазоне от 0,2 до 50 Ом.км и непрерывно определять

координаты отцепа на элементарных контрольных участках длиной $\ell_{ЭКУ} = 12,5$ м и $\ell_{ЭКУ} = 25$;

- созданное устройство определения координат и скорости отцепов, обеспечивающее относительную нечувствительность к изменению основного дестабилизирующего фактора – сопротивления изоляции рельсовых линий в широком диапазоне его изменения - при сохранении минимальной погрешности, имеющее высокие эксплуатационные характеристики, которое может быть рекомендовано к широкому внедрению на сети магистральных железных дорог и промышленного железнодорожного транспорта.

Практическую ценность работы составляют:

- созданное устройство непрерывного контроля координаты и скорости отцепов на спускной части сортировочных горок, обеспечивающее правильное определение координат при длинах ЭКУ 12,5 м и 25 м с использованием степенного полинома в качестве решающей функции в диапазоне изменения основного возмущающего фактора – сопротивления изоляции от 0,2 до 50 Ом.км;

- разработанные математические модели рельсовых цепей, позволяющие исследовать изменения токов и напряжений на входе рельсовой линии, определять пределы работоспособности рельсовых цепей и прогнозировать их функциональные возможности при проектировании систем интервального управления движения поездов.

Реализация результатов работы осуществлена путем внедрения устройства определения координат и скорости отцепов в комплексе системы автоматического управления скоростью отцепов на сортировочной горке Пенза-III Куйбышевской железной дороги – филиала ОАО РЖД.

Математические модели рельсовых цепей, позволяющие исследовать изменения напряжений и токов на входе горочной рельсовой цепи, а также перегонных тональных рельсовых цепей использованы в комплексе автоматизированного проектирования систем и устройств СЦБ.

Результаты работы используются в учебном процессе СамГУПС при выполнении лабораторных работ и чтении лекций по курсам «Математическое моделирование устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи», «Станционные системы автоматики и телемеханики».

Апробация работы. Основные положения и результаты научных исследований диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, региональных научно–практических конференциях, проводимых в СамГУПС, ТелеКомТранс 2006, 2007 в г. Сочи, ТрансЖАТ в г. Санкт-Петербурге, ОмГУПС, СНЦ РАН, г. Самара, заседаниях научно – технического семинара электротехнического факультета СамГУПС.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 10 печатных работах, которые включают в себя 8 статей (из них четыре – в изданиях, определенных ВАК Минобразования России), один патент РФ и одно свидетельство на регистрацию программного продукта.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Материалы диссертации изложены на 134 страницах основного текста, содержат 43 иллюстрации, 6 таблиц, 7 приложений. Библиография включает в себя 86 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и выбранного направления исследований, дана краткая характеристика диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 посвящена исследованию методов и алгоритмов определения и регулирования скорости отцепов на сортировочных горках.

Процесс расформирования составов является весьма сложным в плане реализации алгоритмов функционирования, протекающим при непрерывно изменяющихся внешних факторах, высокой интенсивности процесса и временных ограничениях. Для выполнения сортировочной работы широко используются различные специальные устройства, среди которых основными являются сортировочные горки.

Работы Н.Ф. Фонарева, который является основоположником автоматизации горок, а также ученых А.М. Брылеева, В.И. Шелухина, Е.М. Шафита, Н.К. Модина, В.А. Буянова, Е.А. Сотникова, П.С. Грунтова, В.Е. Павлова, Ю.А. Мухи, В.С. Скабаллановича, Г.А. Красовского, А.Е. Пирогова, Ю.А. Кравцова, В.М. Лисенкова, А.Г. Савицкого, В.А. Кобзева и др. позволили создать комплекс регулирования скорости отцепов на сортировочных горках с использованием информации о скорости на измерительном участке на вершине горки трехточечным способом и радиолокационных скоростемеров в зоне тормозных позиций. Труды В.Н. Иванченко, А.А. Сепетого, Н.Н. Лябах в области распознавания отцепов на горках позволили уточнить тип отцепов, динамические характеристики и расширили диапазон правильного функционирования систем регулирования скоростью отцепов.

В системах регулирования скорости скатывания отцепов с горки одна из важнейших функций – измерение скорости. Для обеспечения нормальной работы горочных устройств диапазон измеряемых скоростей должен составлять от 1,5 до 35 км/ч. Важнейший информационный параметр движения отцепа

скорость, измеряется в настоящее время радиолокационными скоростемерами РИС-ВЗМ.

Радиолокационные измерители хорошо работают в тех случаях, когда необходима точность измерений при относительно небольшом диапазоне изменения скорости $\beta = V_{\max} / V_{\min} = 1,5 \div 2,5$. Экспериментальные исследования на станции Пенза III, Бекасово-Сортировочная показали, что скорости движения отцепов изменяются от 1,5 до 33 км/ч, и динамический диапазон составляет $\beta > 20$, а максимальное изменение замедления отцепа достигает 3 м/с^2 . При этом замирание доплеровского сигнала на измерительном интервале достигает $40 \div 60\%$, и в условиях сильных флуктуаций сигналов, отраженных от отцепов, скоростемеры работают неустойчиво.

Одним из факторов, приводящих к увеличению погрешности определения скорости отцепов, является большой угловой размер отцепов, вследствие этого происходит расширение спектра доплеровского сигнала, что в конечном итоге снижает точность измерения скорости. При сложных многоточечных структурах происходит интерференция волны от совокупности «блестящих точек» на поверхности отцепов по сложному закону, что приводит к «замиранию» сигналов, и невозможности измерения скорости в течение определенного времени.

Следующим фактором, влияющим на погрешность определения скорости отцепов, является наличие «мешающих» отцепов, движущихся по соседнему пути. Для того, чтобы величина погрешности не превышала допустимых значений, сигнал помехи от соседних отцепов должен быть ослаблен не менее чем на 30 дБ, и этого можно добиться оптимизацией координаты размещения датчика скорости в зоне измерительного участка. Это условие не позволяет оборудовать спускную часть горки рядом радиолокационных датчиков для обеспечения непрерывного контроля скорости отцепов.

В целом, подводя итог анализу отечественных и некоторых основных зарубежных систем регулирования скорости отцепов, а также рассмотрению современных подходов к созданию средств автоматизации сложных технологических процессов, можно сделать вывод о необходимости создания новых систем определения скорости отцепа по всей траектории движения, так как существующие дискретные, в определенных зонах определяющие скорость отцепа устройства, не позволяют повысить скорость и обеспечить безопасность роспуска составов.

Поэтому сформулирован новый принцип получения непрерывной информации о скорости движения отцепов на спускной части горки, суть которого заключается в том, что по информации о характере изменения

величины тока и напряжения на входе коротких рельсовых цепей, с помощью предварительно «обученной» решающей функции непрерывно контролируется координата, и по динамике ее изменения во времени, вычисляется скорость отцепа в любой точке спускной части горки.

Глава 2 посвящена разработке принципов построения датчика определения координаты и скорости отцепов и математической модели датчика, позволяющего исследовать качество первичных признаков по определению координаты отцепов.

Для определения интервала (расстояния) между предыдущим и последующим отцепами по всему маршруту пути следования отцепа предусматриваются устройства фиксации местонахождения отцепов, в виде элементарных контрольных участков (ЭКУ).

Ток в начале рельсовой линии ЭКУ $i_{\text{вх}}$ и напряжение $u_{\text{вх}}$ зависят от значений первичных параметров рельсовых линий (R_0, L_0, g_0, C_0), зависящих от длины рельсовой линии dx . И это свойство зависимости тока и напряжения на входе рельсовой линии от ее длины может быть использовано при определении координаты и скорости отцепов на горках. С учетом этого, композиция датчика определения скорости отцепа на горке имеет вид, представленный на рисунке 1.

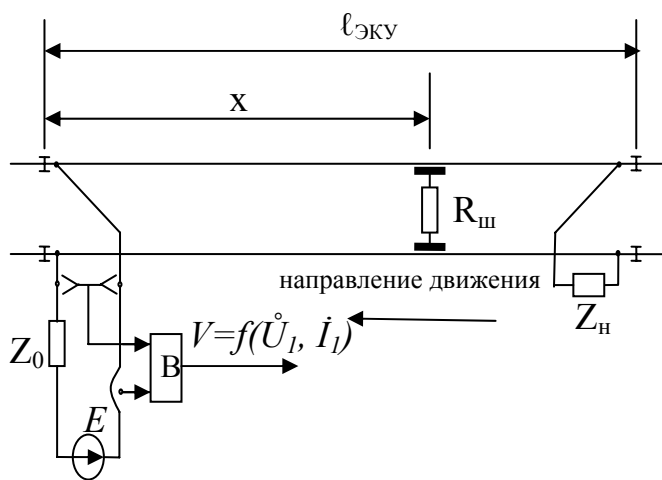


Рисунок 1. - Композиция датчика измерения скорости отцепа:

B – вычислитель скорости отцепа,

$R_{\text{ш}}$ – сопротивление шунта отцепа.

Применительно к определению координаты отцепов на сортировочных горках в качестве информативных признаков в работе использованы амплитуды и фазы напряжений и токов на входе рельсовой линии ЭКУ, следовательно, множество образов, характеризующих динамику изменения скорости отцепов при использовании четырех признаков, имеют вид:

$$m_{si} \{U_{1s}, \varphi_{1s}, I_{1s}, \psi_{1s}\}, i=1,2, \dots, n.$$

Выражения, связывающие напряжения и токи на входе рельсовой линии с первичными и вторичными распределенными параметрами рельсовых линий имеют вид:

$$\dot{U}_1 = \frac{\dot{E}(A_o \dot{Z}_H + B_o)}{A_{OH}(A_o \dot{Z}_H + B_o) + B_{OH}(C_o \dot{Z}_H + D_o)} ; \quad (1)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}(C_o \dot{Z}_H + D_o)}{A_{OH}(A_o \dot{Z}_H + B_o) + B_{OH}(C_o \dot{Z}_H + D_o)} ; \quad (2)$$

$$[A_o] = [A_{TH}] \times [A_{PL}],$$

где $[A_{TH}]$ - коэффициенты четырехполюсника согласующего трансформатора.

$$\begin{aligned} A_{PL} &= \text{ch}\gamma(\ell - x) \cdot \text{ch}\gamma x + \frac{1}{Z_B} \text{sh}\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{R_{III}} \text{ch}\gamma x + Z_B \text{sh}\gamma x \right), \\ B_{PL} &= \text{ch}\gamma(\ell - x) \cdot \frac{1}{Z_B} \text{sh}\gamma x + \frac{1}{Z_B} \text{sh}\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{R_{III} Z_B} \text{sh}\gamma x + \text{ch}\gamma x \right), \\ C_{PL} &= Z_B \text{sh}\gamma(\ell - x) \cdot \text{ch}\gamma x + \text{ch}\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{R_{III}} \text{sh}\gamma x + Z_B \text{sh}\gamma x \right), \\ D_{PL} &= Z_B \text{sh}\gamma(\ell - x) \cdot \frac{1}{Z_B} \text{sh}\gamma x + \text{ch}\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{R_{III} Z_B} \text{sh}\gamma x + \text{ch}\gamma x \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Выражения (1) и (2) с учетом (3) являются компонентными математическими моделями информативных признаков $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_1$.

В работе с помощью разработанных математических моделей исследована информативность признаков с использованием предложенных критериев:

динамического диапазона изменения значения признака

$$K_{dU} = \frac{U_{\max}^S(r_{из}, s_{от})}{U_{\min}^S(r_{из}, s_{от})} \geq 1,2 ; \quad K_{dI} = \frac{I_{\max}^S(r_{из}, s_{от})}{I_{\min}^S(r_{из}, s_{от})} \geq 1,2 ,$$

$$K_{d\varphi} = \frac{\varphi_{\max}^S(r_{из}, s_{от})}{\varphi_{\min}^S(r_{из}, s_{от})} \geq 1,2 ; \quad K_{d\psi} = \frac{\psi_{\max}^S(r_{из}, s_{от})}{\psi_{\min}^S(r_{из}, s_{от})} \geq 1,2 ,$$

коэффициента нечувствительности к изменению сопротивления изоляции

$$K_{HU} = \frac{U_{\max}^N(r_{из})}{U_{\min}^N(r_{из})} ; \quad K_{HI} = \frac{I_{\max}^N(r_{из})}{I_{\min}^N(r_{из})} ,$$

$$K_{H\varphi} = \frac{\varphi_{\max}^N(r_{из})}{\varphi_{\min}^N(r_{из})} ; \quad K_{H\psi} = \frac{\psi_{\max}^N(r_{из})}{\psi_{\min}^N(r_{из})} ,$$

и коэффициента качества фиксации вступления отцепы на ЭКУ

$$K_{KU} = \frac{U_{\min}^N(r_{из})}{U_{\max}^S(r_{из}, s_{от})} \geq 1,2; \quad K_{KI} = \frac{I_{\min}^N(r_{из})}{I_{\max}^S(r_{из}, s_{от})} \geq 1,2,$$

где $U^N, I^N, \varphi^N, \psi^N$ - значения признаков при отсутствии, а $U^S, I^S, \varphi^S, \psi^S$ – при движении по ЭКУ отцепа.

Исследования, проведенные в работе, показали, что, в зависимости от изменения сопротивления изоляции, координаты нахождения отцепа, критерии имеют следующие пределы изменения:

$$\begin{aligned} 2,228 &\geq KdU \geq 2,12; & 1,237 &\geq KdI \geq 1,034; \\ 7,717 &\geq Kd\varphi \geq 4,665; & 8,953 &\geq Kd\psi \geq 8,065; \\ 1,104 &\geq K_{нU} \geq 1,058; & 1,2 &\geq K_{нI} \geq 1,059; \\ 1,165 &\geq K_{н\varphi} \geq 1,06; & 1,184 &\geq K_{н\psi} \geq 1,58; \\ 1,760 &\geq K_{кU} \geq 1,117; & 1,405 &\geq K_{кI} \geq 1,197, \end{aligned}$$

что вполне удовлетворяет требованиям информативности признаков и подтверждает возможность использования их при определении координаты отцепов.

В главе 3 разработана методика синтеза решающей функции определения координаты и скорости отцепов с использованием множества информативных признаков.

Задача определения скорости отцепов на спускной части сортировочных горок идентична задаче распознавания непрерывно изменяющихся состояний динамических объектов. Непрерывно изменяющимся параметром при движении отцепа является его координата, а, следовательно, и скорость. Поэтому, при определении скорости необходимо вычислить изменяемую координату отцепа, а затем, зная путь пройденный отцепом (через координаты), вычислить его скорость.

Решать поставленную задачу определения координат и скорости отцепа удобно с использованием решающих функций (РФ).

Задача математически формулируется так. Необходимо найти зависимость функции координаты от некоторых изменяемых параметров X :

$$S_i(X) = f(x_{ij}), \forall i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2 \dots m, \quad (4)$$

где $S_i(X)$ – выходная, решающая функция, x_{ij} – значения изменяемых входных признаков, являющихся аргументами решающей функции и зависящих от координаты отцепа,

и по динамике изменения аргументов, определять координату отцепа на любой ординате элементарного контрольного участка, и если известны координаты отцепа за фиксированное время, скорость отцепа определять по формуле:

$$V_i(t) = \frac{S_i(X) - S_{(i-1)}(X)}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad (5)$$

где $V_i(t)$ - скорость отцепа в i - ый момент времени, $S_i(X)$ - текущая координата отцепа, вычисленная по формуле (4), Δt - временной интервал, в течение которого координата отцепа изменилась с $S_{(i-1)}(X)$ до $S_i(X)$, т.е. ΔS .

В процессе построения решающей функции основная задача заключается в том, чтобы найти значения коэффициентов РФ $W = \{\omega_{0i}, \omega_{ij}, \dots\}$ для каждого конкретного применения по входным электрическим параметрам ЭКУ. Тогда, при известном виде полинома РФ

$$S(X) = \omega_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{ijk} x_i x_j x_k \dots, \quad (6)$$

где x_i, x_j, x_k - информативные признаки; $\omega_i, \omega_{ij}, \omega_{ijk}$ - искомые коэффициенты, его коэффициенты находятся решением системы условных уравнений с использованием априорно определенных значений признаков x_i, x_j, x_k в результате полевых экспериментальных измерений или посредством вычислительного эксперимента на математической модели, а значения $S(X)$ известны и соответствуют определенным координатам, на которых производились измерения.

Погрешность определения координат отцепов решающей функцией, оценивается формулой:

$$\delta S_{от} = |\max[(S''_{отi} - S'_{отi})/S'_{отi}]|, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

где, $S'_{отi}$ - реальные, фактические значения координаты отцепа, $S''_{отi}$ - значение координат, вычисленные по решающей функции.

Результаты исследования относительной погрешности определения координат отцепов решающими функциями с использованием разработанной методики определения коэффициентов с использованием составленных алгоритмов и разработанных программ, показали, что при определении координаты отцепа предпочтение следует отдавать решающей функции, обеспечивающей минимальную относительную погрешность $\delta_{min} = 0.856$ (сочетание $U_1 \phi_1 \psi_1$), при длине ЭКУ 12.5 м, а при длине ЭКУ 25 м – $\delta_{min} = 5.7\%$.

Глава 4 посвящена технической реализации устройства определения координат и скорости отцепа на спускной части сортировочной горки. Техническая реализация базируется на предложенных и разработанных в главах 2 и 3 методиках и исследованиях.

Реализованное устройство состоит из датчика информации, включающего источник опорного сигнала синусоидальной формы, согласующего

трансформатора на питающем конце рельсовой линии, нагрузочного элемента, датчиков напряжения и тока и двух микропроцессорных решающих устройств с блоками мультиплексирования каналов и аналого-цифровыми преобразователями, преобразователей фаз и интерфейсных модулей.

Устройства сопряжения реализованы на основе датчиков Холла. Для измерения тока использованы LA15-P, а напряжения- LV25-P/SP3, LV300-P/SP3, исключая влияние аппаратуры сопряжения на измеряемые цепи.

В заключении приведены полученные результаты и сформулированы выводы по работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в диссертационной работе исследования позволили сформулировать следующие основные результаты и выводы.

1. Анализ методов и алгоритмов регулирования скорости на основе информации о текущей скорости отцепов на спускной части сортировочной горки показал, что применяемые в настоящее время способы и методы получения информации базируются на дискретном измерении скорости на вершине горки трехпедальным способом или радиолокационными скоростемерами при входе отцепов на тормозные позиции и выходе из них, поэтому проблему повышения точности и получения информации о скорости движения отцепов на любой координате сортировочной горки, не решают.

Совершенствование метода определения скорости отцепа в любой координате его движения, направленного на разработку нового устройства определения координаты и скорости, предложено осуществить, путем использования информации о переменных значениях, зависящих от координаты отцепа, параметров электрических сигналов U_1, ϕ_1, I_1, ψ_1 на входе элементарных контрольных участков рельсовых линий путей сортировочной горки, что позволяет обеспечить точность и контролировать скорость непрерывно по всей длине путей сортировочной горки.

2. Предложены математические модели рельсовых цепей в виде четырехполюсных схем замещения с равномерно распределенными параметрами рельсовых линий, на повышенной частоте, для трех состояний: свободного от отцепа, занятого отцепом и неисправной рельсовой линии, позволяющие, учитывая повышенное сопротивление шунтирования колесными парами рельсов различной длины, формировать пространство состояний признаков в зависимости от изменения сопротивления изоляции, координаты нахождения отцепа. Предложенная количественная оценка информативности признаков с использованием разработанных критериев: коэффициента

динамического диапазона изменения признаков K_d , коэффициента качества фиксации отцепа K_k и коэффициента относительной нечувствительности признаков K_H к изменению сопротивления - позволила ранжировать признаки по информативности и выявить тенденции их изменения в различных режимах.

3. Предложенная структура информационной системы для определения координаты и скорости отцепов предполагает оборудование путей спускной части сортировочной горки элементарными электрически изолированными друг от друга контрольными участками, являющимися датчиками определения координат отцепов, чувствительными элементами которых являются рельсовые линии, длиной 12,5 м и 25 м, с частотой сигнала опроса рельсовых линий 1000 Гц, а вычисление координат отцепов осуществлять решающей функцией, информативными признаками которой являются модули и фазы напряжений и токов на входе рельсовой линии ЭКУ.

4. Разработанная методика синтеза решающей функции вычислителя координат отцепов предусматривает определение коэффициентов решающих функций при заданной длине ЭКУ и позволяет учитывать весь диапазон изменения сопротивления изоляции, что обеспечивает нечувствительность в заданном пределе ее изменения от 0,2 до 50 Ом.км. Исследование относительной погрешности определения координат отцепов решающими функциями с использованием разработанной методики определения коэффициентов на основе составленных алгоритмов и разработанных программ показали, что при сопротивлении шунтирования колесных пар 0,5 Ом, и длине элементарного контрольного участка 12,5 м - $\delta_{\min} = 0,856\%$, а при длине 25 м - $\delta_{\min} = 5,7\%$ обеспечивает сочетание U_1, φ_1, ψ_1 .

5. При участии автора на базе проведенных исследований создано устройство определения координаты и скорости отцепов на спускной части сортировочной горки с решающей функцией в виде степенного полинома Колмогорова-Габора на основе микропроцессора PC Microcontroller 6065 фирмы Octagon Systems и периферийных устройств AIMUX-32, AI-16-2-010 фирмы LAN Automatic, которое способно функционировать в жестких промышленных условиях и обеспечивать минимальную погрешность определения координаты отцепов менее 1% при длине ЭКУ – 12, 5 м и менее 6% при длине ЭКУ-25 м. Разработанное устройство используется на Куйбышевской железной дороге – филиала ОАО РЖД.

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

По материалам диссертации опубликовано 10 работ, в том числе:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Горбунов, А.Е. Исследование параметрической чувствительности датчика координаты подвижной единицы / А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов, И.В. Волик // Вестник Самарской государственной академии путей сообщения. – 2006. – Вып.6. – С. 96-98.
2. Горбунов, А.Е. Технология обеспечения безопасности перевозочного процесса на транспорте / А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов, И.П. Гордеев, А.Г. Исайчева // Вестник Самарской государственной академии путей сообщения. – 2006. – Вып.6. – С. 95-96.
3. Горбунов, А.Е. Принцип самоорганизации при формировании опорной функции классификатора сопротивления изоляции / А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов, М.Б. Куров, А.Г. Исайчева // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара, 2007. – С. 52-55.
4. Горбунов, А.Е. Комбинированная система контроля состояний рельсовых линий / А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов, М.В. Трошина // Вестник Самарской государственной академии путей сообщения. – 2007. – Вып.7. – С. 30-32.

В других изданиях

1. Горбунов, А.Е. Разработка компонентных математических моделей информативных признаков определения скорости / А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов, А.И. Яковчук // Вестник Самарского муниципального института управления. – 2008. – № 6. – С. 78-84.
2. Горбунов, А.Е. Концепция построения информационного датчика непрерывного определения скорости и ускорения отцепов / А.Е. Горбунов // Вестник Самарского муниципального института управления. – 2008. – № 6. – С. 90-95.
3. Горбунов, А.Е. Методика синтеза решающей функции определения координаты отцепов / А.Е. Горбунов // Вестник Самарского муниципального института управления. – 2008. – № 7. – С. 87-92.
4. Горбунов, А.Е. Определение сложности решающей функции определения координат отцепов / А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов // Вестник Самарского муниципального института управления. – 2008. – № 7. – С. 70-76.
5. Свидетельство на Государственную регистрацию программы для ЭВМ № 2009610248 от 11.01.2009г. Исследование рельсовой цепи в нормальном режиме / А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов, М.В. Трошина, А.И. Яковчук.

6. Положительное решение от 26.08.2008г. по заявке № 2007131609/11.
Устройство измерения сопротивления изоляции рельсовой линии /
А.Е. Горбунов, Е.М. Тарасов, М.Б. Куров, Е.В. Тарасова.

Сведения о личном участии автора в опубликованных работах

[1] – для исследования чувствительности датчика координаты подвижной единицы предложены критерии динамического диапазона изменения информативного признака.

[2] – предложен принцип оценки показателей надежности СЖАТ.

[3] – предложен принцип последовательного усложнения вида опорной функции классификатора сопротивления изоляции на основе МГУА.

[4] – обоснована структура нормально-замкнутой схемы рельсовой цепи ЭКУ.

[5] – разработан алгоритм формирования математических моделей рельсовых цепей на повышенных частотах.

[8] – в качестве критерия выбора сложности решающей функции предложено использовать относительную погрешность вычисления координат отцепов.

[9] – сформированы требования к критериям исследования изменения информативности признаков с использованием программного пакета Mathcad.

[10] – предложены схемные решения устройства измерения сопротивления изоляции рельсовой линии.

ГОРБУНОВ Алексей Евгеньевич

05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники
и систем управления

Подписано в печать 02.12.2008г. Формат 60×84 1/16.

Бумага писчая. Печать оперативная. Усл. печ. листов 1,5.

Тираж 100 экз. Заказ № 112

Отпечатано в Самарском государственном университете путей сообщения.
г. Самара, ул. Заводское шоссе, 18.