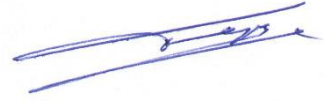


На правах рукописи



Герус Владимир Леонидович

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
ПЕРЕЕЗДАХ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС)».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Тарасов Евгений Михайлович

Официальные оппоненты:

Годяев Александр Иванович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДвГУПС)», кафедра «Автоматика, телемеханика и связь», заведующий;

Бушуев Сергей Валентинович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)», проректор по научной работе, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», доцент.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)».

Защита состоится «22» февраля 2019 г., в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, аудитория Б2-15 – зал диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат: www.usurt.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Железнодорожные переезды играют важную роль в транспортно – логистической сети России и зарубежных стран. Они обеспечивают системное и безопасное регулирование транспортных потоков на пересечениях с железными дорогами на одном уровне. Увеличение массы поездов до 7-12 тыс. т., внедрение скоростных поездов, повсеместное использование тяжеловесных автомобильных тягачей, с весом полуприцепов до 40-60 т., внесли существенные изменения во временные интервалы работы автоматической переездной сигнализации. В связи с возросшим потоком автотранспорта и интенсивностью движения поездов ситуация с обеспечением безопасности на переездах в последние годы стала особенно острой. Одной из основных причин нарушения безопасности является то, что существенно возросло время закрытого состояния переезда из-за того, что при движении (особенно длинносоставных) поездов с малой скоростью, время ожидания разрешения движения автотранспорта превышает 40-50 минут, что приводит к нарушению требований безопасности проезда через переезд. При этом необходимо отметить, что немаловажную роль играет психологический фактор: водители неадекватно оценивают степень риска при невидимости поезда, приближающегося к переезду, и не могут рассчитать время его прибытия к переезду. Поэтому к основным причинам нарушения безопасности на переезде относятся: 86% – проезд запрещающих светофоров; 12% – объезд водителями шлагбаумов.

Существующие системы не информируют водителей о времени до прихода поезда на переезд, отсутствует информация о направлении движения поезда к переезду, о поездной ситуации на переезде – об одновременном движении поездов по другим путям при движении поезда по ближнему пути, т.к. он закрывает видимость других путей. Кроме того, у них жесткий алгоритм управления - при вступлении на рельсовую цепь поезда, дискретно происходит закрытие переезда для движения автомобилей, не зависимо от скорости поезда. Поэтому создание системы управления ограждающими устройствами с усовершенствованным алгоритмом функционирования, учитывающим координату и скорость поезда на участке приближения, и оперативно предоставляющим водителям информацию о поездной ситуации на переезде, является актуальной научно–технической задачей и имеет важное народно-хозяйственное значение.

Диссертационные исследования согласуются с «Транспортной стратегией РФ до 2030г.», где среди главных целевых ориентиров стратегии обозначено «снижение аварийности, рисков и угроз безопасности по видам транспорта».

Выполненное исследование соответствует паспорту специальности 05.22.08, который, согласно формуле, раскрывает содержание специальности – совершенствование существующих и разработка новых технических и технологических решений в организации, управлении перевозочным процессом, в том числе - движением поездов.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы теории и практики создания автоматизированных систем управления движением на железнодорожных переездах и обеспечения безопасности функционирования систем интервального регулирования поездов разработаны в трудах известных ученых Бестемьянова П.Ф., Белякова И.В., Сапожникова В.В., Сапожникова Вл. В., Годяева А.И., Алексеева В.М., Розенберга Е.Н., Никитина А.Б., Лябаха Н.Н., Шаманова В.И., Бушуева С.В., Тилька И.Г и др. Анализ литературных источников показывает, что решение обозначенной в работе проблемы осуществляется за счет модернизации различных компонент комплекса автоматической переездной сигнализации. К ним можно отнести значительную глубину исследования принципа управления сигнализацией с жестким алгоритмом функционирования с фиксированной длиной участка приближения. Попытка изменения длины участка приближения и, соответственно, времени ожидания в зависимости от скорости поезда методами зондирования рельсовых линий короткими импульсами наталкивается на техническую сложность системы с невысокой надежностью. Поскольку задача повышения безопасности на железнодорожных переездах особо актуальна, и, с учетом того, что в настоящее время имеющиеся теоретические и практические разработки недостаточно полно решают задачи по минимизации времени закрытого состояния переездов, особенно своевременны работы, посвященные решению локальных задач по непрерывному определению координаты и скорости поезда и, соответственно, управления переездной сигнализацией по алгоритму минимального времени закрытого состояния переезда, информированности водителей автотранспорта о ситуации на переезде.

Цель работы и основные задачи исследования. Основной целью исследований является разработка и научное обоснование предложений, направленных на разработку алгоритма функционирования переездной сигнализации на основе информации о местоположении и скорости поезда с самонастройкой уравнения координаты движения поезда, и расширение информационных возможностей.

Для достижения поставленной цели сформированы следующие задачи:

– анализ развития и современного состояния безопасности движения на переездах для выявления системных причин, вызывающих нарушение безопасности движения на переездах;

– исследование оснащенности инфраструктуры переездов техническими средствами для определения наиболее эффективных средств и технологий для обеспечения безопасности на переездах;

– разработка методики формирования множества первичных признаков, характеризующих местоположения поезда на основе селекции априорного множества признаков;

– разработка вида и сложности уравнения координаты поезда и методики самонастройки уравнения с аргументами – первичными признаками - с целью повышения точности вычисления местоположения поезда;

– исследование разработанного алгоритма самонастройки при изменении первичных параметров датчика координаты - рельсовой цепи - с целью выявления корректирующих возможностей разработанной методики;

– разработка структурной схемы микропроцессорной реализации управляющей системы ограждающими устройствами звеном самонастройки уравнения координаты поезда и блока управления информационным табло для оперативного информирования водителей о поездной ситуации на переезде, а также о времени приближения поездов к переезду.

Объектом исследования являются устройства автоматики и телемеханики на линиях и станциях; устройства обеспечения безопасности перевозок, в частности, устройства ограждения на переездах.

Область исследования: системы обеспечения безопасности движения поездов, методологии построения; системы автоматики и телемеханики, управляющие перевозочным процессом, методы построения, принципы технической реализации и испытания.

Методология и методы исследований. В соответствии с паспортом специальности 05.22.08. п. 6 (методологии и системы обеспечения безопасности движения) и п. 7 (системы автоматики и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, методы их построения и испытания) при работе над диссертацией автором использованы основные положения аппарата теории электрических цепей, самонастраивающихся систем, матричных методов исследований. Расчеты выполнялись на ПЭВМ с использованием математических пакетов Mathcad

15. Математические модели, схемы замещения рельсовых линий выполнены с использованием теории четырехполюсников и линий с распределенными параметрами.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- новый принцип непрерывного вычисления местоположения поезда на основе уравнения координаты с аргументами – входными электрическими параметрами рельсового четырехполюсника, позволяющий информировать водителей о времени до прихода поезда на переезд, минимизировать время ожидания водителей у закрытого переезда и повысить безопасность на железнодорожных переездах;
- методика селекции первичных информативных признаков, являющихся аргументами уравнения координаты, позволяющая формировать минимальный набор из множества признаков, обладающих максимальной информативностью;
- обобщенные математические модели первичного датчика информации, учитывающие подверженные влиянию параметры и позволяющие исследовать входные электрические параметры рельсового четырехполюсника при изменении вариативных параметров;
- методика самонастройки уравнения координаты поезда, позволяющая, рекуррентно изменяя вид и сложность уравнения, добиться максимальной точности вычисления его местоположения.

Теоретическая и практическая значимость работы. По результатам проведенных теоретических исследований расширены возможности автоматической переездной сигнализации в сторону минимизации времени закрытого состояния переезда, что позволяет формировать новый класс железнодорожных переездов с существенно увеличенной пропускной способностью, обеспечивающих повышенный уровень безопасности движения поездов и автотранспорта.

Разработанный и предложенный в работе принцип вычисления координаты поезда с самонастраивающимся уравнением (патент RU 2651379) с алгоритмом адаптивной коррекции коэффициентов уравнения позволяет минимизировать время ожидания водителей у закрытых переездов, исключить их нервозность и, соответственно, повысить безопасность проезда переездов.

Предложенный в работе принцип расширения информированности водителей о времени подхода поезда, о ситуации на переезде позволяет водителям своевременно получать информацию о поездной ситуации, что также повышает безопасность на переезде.

Реализация результатов работы осуществлена, путем внедрения опытного образца информационно-управляющей системы управления переездом на ст. Самара. Математические модели рельсовых цепей участка приближения, позволяющие исследовать комплексные амплитуды напряжений и токов на входе рельсовой цепи, использованы в системе автоматизированного проектирования устройств автоматики и телемеханики в проектно-изыскательском институте «Желдорпроект Поволжья». Теоретические результаты, полученные в работе, используются в Самарском государственном университете путей сообщения в учебном процессе на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте».

Основные положения работы, выдвигаемые на защиту:

1. Результаты анализа нарушения безопасности на переездах позволили выявить сезонность, зависимость от дней недели и от времени суток нарушений водителями проезда переездов, эта информация может быть использована органами исполнительной власти для принятия мер организационного характера повышения безопасности на переездах.

2. Математические модели информативных признаков позволяют проанализировать степень влияния колебаний первичных параметров датчика на комплексные амплитуды напряжений и токов на входе рельсового четырехполюсника, являющиеся первичными информативными признаками и характеризующие координаты поезда.

3. Методика оценки информативности первичных признаков с использованием уравнения вычислителя координаты поезда позволяет провести селекцию признаков по информативности.

4. Предложенная и созданная информативно – управляющая система ограждающими устройствами переезда с самонастраивающимся уравнением координат поезда имеет высокие эксплуатационные характеристики, может быть рекомендована к широкому внедрению на сети железных дорог Холдинга ОАО «РЖД».

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов работы подтверждена соответствием теоретических и практических исследований в лабораторных и экспериментальных условиях. Основные положения и результаты диссертационных исследований доложены и прошли обсуждение в работе международных научно-практических конференций, в том числе: «Наука и образование транспорту» (Самара, 2015), «Инновации в системах обеспечения движения поездов» (Самара, 2016), «Информационные технологии и нанотехнологии - ИТНТ-2016» (Самара, 2016), «Перспективные информационные технологии (ПИТ-

2017)» (Самара, 2017), «Трансформация научной мысли в XXI веке» (Москва, 2017), «Транспорт, наука, образование в XXI веке: опыт, перспективы, инновации» (Оренбург, 2017), «Наука и образование транспорту» (Самара, 2018).

В окончательном варианте результаты диссертационных исследований доложены и обсуждены на расширенном заседании кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» СамГУПС 18 сентября 2018 года, а также на совместном расширенном заседании кафедр «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» и «Управление эксплуатационной работой» УрГУПС 23 ноября 2018 года.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе – 1, входящая в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science, 5 – в ведущих рецензируемых журналах, определенных ВАК Минобрнауки России для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационное исследование состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Материалы диссертации изложены на 149 страницах основного текста, содержат 70 иллюстраций, 1 таблицу, 7 приложений. Библиографический список включает в себя 137 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены: актуальность темы исследования, степень ее разработанности, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов исследований.

В первой главе проведен анализ статистических данных по безопасности на транспортных пересечениях и развитию переездов на сети железных дорог Российской Федерации и стран Европейского железнодорожного агентства (ЕЖДА). Ежегодно возрастающий поток автотранспорта и увеличение интенсивности движения поездов через переезды приводит к достижению предела пропускной способности транспортного пересечения и дисбалансу между потоком автотранспорта и железнодорожного транспорта, и переезды на магистральном железнодорожном транспорте становятся местом экономических потерь железнодорожного и автотранспорта. Выяснено, что пропускная способность переезда зависит от величины транспортных потоков и системы регулирования потоками. Так, при управлении потоками автоматической переездной сигнализацией, если через переезд следует до 7

поездов в час, то максимальный поток автотранспорта не должен превышать 700 авто/час. С учетом того, что ежегодно количество только легковых автомобилей увеличивается на 3,5-4 млн. шт., возникает дисбаланс транспортных потоков на переездах, и на них скапливается огромное количество автомобилей. Этот фактор влияет негативно на показатели безопасности на переездах как для автомобильного, так и для железнодорожного транспорта. Со стороны железнодорожного транспорта появляются риски аварий, перерывы в движении поездов по причине устранения последствий аварий, а для автотранспорта – длительные простои, значительный ущерб вследствие аварий (рис.1).

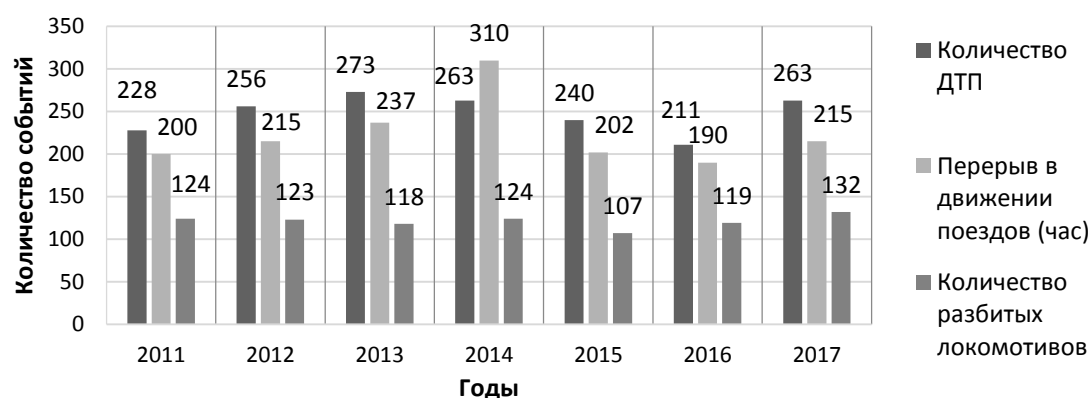


Рисунок 1 – Графики последствий аварий на переездах по годам

Из графиков следует, что из-за аварий на переездах ежегодно перерыв в движении поездов превышает 8-9 суток, из инвентарного парка выводятся до 130 локомотивов. Перерывы в движении поездов приводят к многомиллионным экономическим потерям железнодорожного транспорта.

Удельный вес аварий, приходящихся на 1000 переездов, показывает, что нагрузка на переезды, находящиеся в Российской Федерации значительно выше, чем в странах ЕЖДА, поэтому и аварийность высокая. И, очевидно, прослеживается взаимосвязь между потоком автотранспорта и количеством переездов, а именно, чем меньше переездов при одинаковом потоке автотранспорта, тем выше аварийность. Актуальность и необходимость разработки новых систем регулирования транспортными потоками на переездах продиктована «Стратегией научно – технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года», где одним из научно-технических приоритетов определено «...повышение уровня безопасности производственных процессов и эксплуатационной готовности», а одной из задач, направленных на достижение по-

ставленной цели, является «разработка комплекса технических средств для различных классов железнодорожных переездов, обеспечивающих повышенный уровень защиты, непрерывный мониторинг».

Итак, задача по обеспечению безопасности видится гораздо более широкой, чем только обеспечение безопасности движения поездов, и, следовательно, ее необходимо рассматривать как проблему эффективного взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта, систем управления на переездах, учета психофизического фактора водителей при регулировании длительности закрытия переездов.

Во второй главе рассмотрены мероприятия по повышению безопасности и снижению аварийности на переездах. Как отмечено, на железных дорогах РФ за последние 5 лет закрыто 450 переездов, но за этот промежуток времени количество автомобилей увеличилось на 18% и достигло 40,9 млн. шт. С учетом увеличения автомобилей и закрытия переездов, нагрузка на оставшиеся переезды существенно выросла. На рис.2 представлены значения коэффициента нагрузки K_n по годам, который определяется как отношение количества автотранспорта $N_{авт}$ к количеству переездов $n_{пер}$, а также количество ДТП на переездах $N_{дтп}$:

$$K_n = N_{авт} / n_{пер} \quad (1)$$

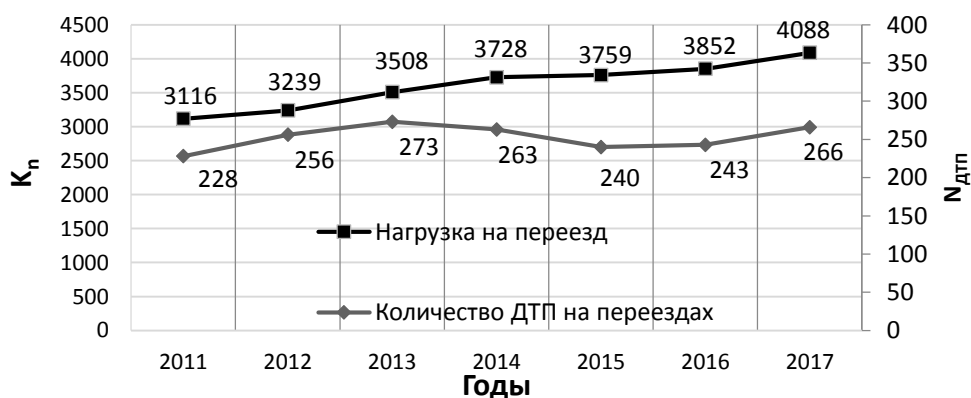


Рисунок 2 - Динамика изменения нагрузки и ДТП на переездах

Из графиков прослеживается корреляционная связь между нагрузкой на переезды и количеством ДТП на них, т.е. с увеличением нагрузки на переезд увеличивается количество ДТП, причем в последние годы графики незначительно расходятся, т.е. организационно-технические мероприятия незначительно уменьшают количество ДТП. Мероприятия, направленные на увеличение безопасности на переезде, можно разделить, в основном, на пять направлений: мероприятия предупре-

дительно – профилактического характера; мероприятия организационные в области уменьшения количества переездов; мероприятия технические, направлены на развитие оснащённости переездов; информационные разработки, направленные на повышение внимательности водителей; мероприятия инновационные, связанные с реализацией новых технологий управления переездной сигнализацией.

Реализация концепций организационно – технических мероприятий сокращает количество ДТП на переездах, но не в полной мере решает проблему безопасности. Поэтому в последнее время все большее внимание уделяется приоритетному направлению - разработке инновационных технологий и новых алгоритмов управления переездной сигнализацией: управление с учетом динамических свойств поезда с повышенной точностью определения координаты; информирование водителей с использованием информационного табло о ситуации в зоне приближения и на самом переезде.

Третья глава посвящена разработке методики формирования множества первичных признаков на основе селекции системы признаков, характеризующих координаты поезда. Координату и скорость поезда можно вычислить, используя информацию уравнения координаты поезда $S_i = f(X)$, аргументами которого являются информативные признаки. Можно выделить два основных метода оценки информативности (полезности) признаков, приемлемых при построении вычислителя координаты поезда. В одном из них выбор признаков осуществляется вне системы вычисления координат. Другой метод предполагает оценку информативности с участием уравнения координаты поезда.

При реализации первого метода оценки информативности (полезности) признаков в качестве меры оценки использованы корреляционные функции r_{ij} , которые позволяют установить взаимосвязь пар признаков x_{1i} и x_{2i} из множества $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. С этой целью необходимо рассмотреть попарную комбинацию признаков в каждой строке матрицы:

$$X = \begin{vmatrix} x_{11}, & x_{12}, & \dots, & x_{1n} \\ x_{21}, & x_{22}, & \dots, & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1}, & x_{m2}, & \dots, & x_{mn} \end{vmatrix} \quad (2)$$

Значение r_{ij} около 1 указывает на сильную зависимость в паре рассматриваемых признаков, и один из признаков не несет информацию о координате. А $r_{ij} < 1$

указывает на слабую зависимость между признаками, и пара признаков включается во множество.

Сочетания пар признаков представлены на рис. 3.

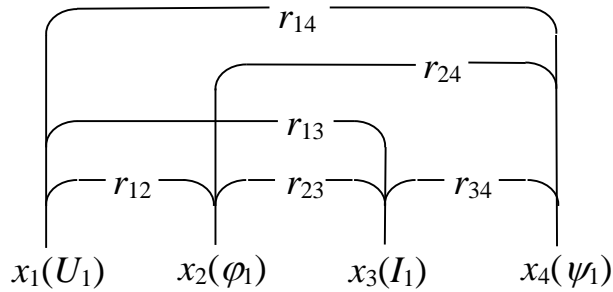


Рисунок 3 - Схема комбинации попарного сочетания признаков

С использованием программного пакета Mathcad проведены исследования корреляционных коэффициентов пар признаков рис. 4.

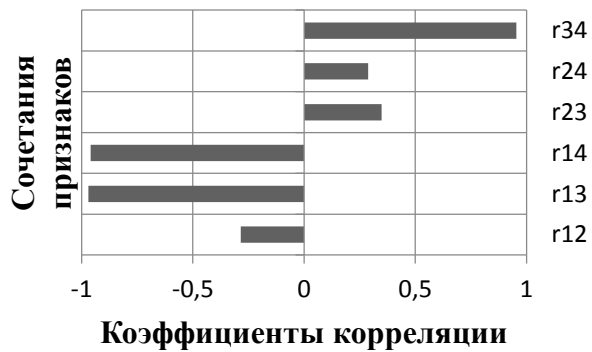


Рисунок 4 - Значения взаимокорреляционного коэффициента пар признаков

При разработке математических моделей рельсовая линия замещена удовлетворяющей требованиям по точности четырехполусной схемой, вида, представленного на рис 5.

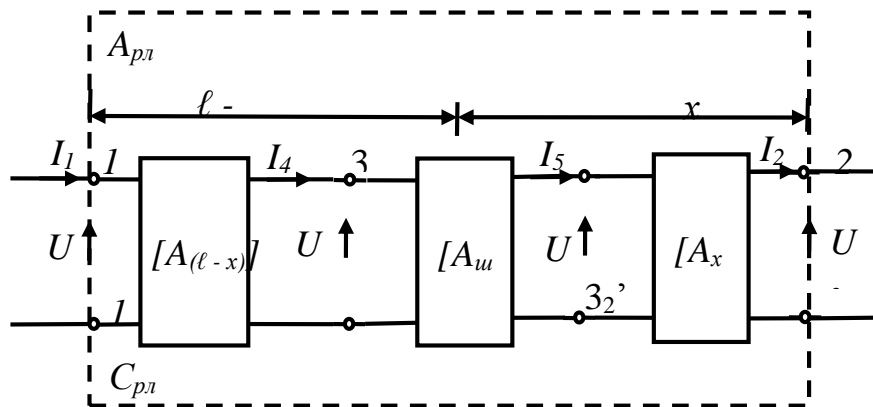


Рисунок 5 - Декомпозиция основной схемы замещения в шунтовом режиме

Коэффициенты обобщенного четырехполюсника $[A_{PL}]$ с учётом комплексного сопротивления поездного шунта имеют вид:

$$\begin{aligned}
 A_{PL} &= ch\gamma(\ell - x) \cdot ch\gamma x + Z_6 sh\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} ch\gamma x + \frac{1}{Z_6} sh\gamma x \right), \\
 B_{PL} &= ch\gamma(\ell - x) \cdot Z_6 sh\gamma x + Z_6 sh\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} Z_6 sh\gamma x + ch\gamma x \right), \\
 C_{PL} &= \frac{1}{Z_6} sh\gamma(\ell - x) \cdot ch\gamma x + ch\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} sh\gamma x + \frac{1}{Z_6} sh\gamma x \right), \\
 D_{PL} &= \frac{1}{Z_6} sh\gamma(\ell - x) \cdot Z_6 sh\gamma x + ch\gamma(\ell - x) \cdot \left(\frac{1}{Z_u} Z_6 sh\gamma x + ch\gamma x \right).
 \end{aligned} \tag{3}$$

С использованием уравнений состояний и системы (3) в работе получены обобщенные математические модели информативных признаков первичного датчика информации, позволяющие исследовать входные электрические параметры датчика при изменении вариативных параметров:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1S} = \frac{E(A_{PL}Z_n + B_{PL})}{(C_{PL}Z_n + D_{PL})Z_o + A_{PL}Z_n + B_{PL}}; \\ \dot{I}_{1S} = \frac{E(C_{PL}Z_n + D_{PL})}{(C_{PL}Z_n + D_{PL})Z_o + A_{PL}Z_n + B_{PL}}. \end{cases} \tag{4}$$

С помощью математического пакета Mathcad 15, разработанных математических моделей (4) в работе исследованы изменения первичных информативных признаков – комплексных амплитуд напряжения и тока – в зависимости от изменения координаты шунта и проводимости изоляции для оценки возможности их индивидуального использования для определения координаты поезда.

Из анализа результатов проведенных исследований следует, что все информативные признаки из выбранного множества $m_{Sj} = \{U_{1S}, \varphi_{1S}, I_{1S}, \psi_{1S}\}$, $j = 1, 2, \dots, l$ различно реагируют на наличие и движение поезда по участку приближения к переезду. Выявлено, что отдельными признаками определять координаты поезда невозможно, т.к. их информация зашумлена изменением проводимости изоляции.

В четвёртой главе разработана методика формирования вычислителя координаты и скорости поезда и корректирующий алгоритм уравнения координаты поезда.

Информационно-управляющее устройство переездной сигнализации можно рассматривать как частный случай адаптивных систем с идентификатором. При построении системы управления сигнализации необходимо определить вид и слож-

ность уравнения вычислителя координаты поезда, являющегося моделью стратегического идентификатора, и разработать алгоритм корректировки коэффициентов полинома уравнения координаты.

В качестве уравнения координаты поезда в работе использован полином Колмогорова - Габора, вида:

$$d(X) = C_0 + \sum_0^N C_n x_n + \sum \sum C_{n_1} C_{n_2} x_{n_1} x_{n_2} + \sum \sum \sum C_{n_3} C_{n_4} C_{n_5} x_{n_3} x_{n_4} x_{n_5} + \dots \quad (5)$$

где C_1, C_2, \dots - коэффициенты полинома уравнения координат, x_1, x_2, \dots, x_n - первичные информативные признаки.

Использование полинома Колмогорова – Габора в качестве уравнения координат поезда объясняется простотой определения коэффициентов и возможностью повышения точности до требуемой, путем усложнения его вида.

Вычислительные эксперименты на математической модели показали, что с увеличением степени полинома уравнения вычислителя координат свыше третьей, чувствительность к изменению первичных параметров становится чрезмерно высокой. Поэтому в диссертационном исследовании автор остановился на квадратичных функциях полинома уравнения вычислителя координат, вида:

$$d(X) = C_1 x_1 + C_2 x_2 + C_3 x_1 x_2 + \dots + C_n x_n^2 + C_{n+1}, \quad (6)$$

В качестве примера реализации $d(X)=f(U_1, \varphi_1)$ уравнения вычислителя координат при номинальных первичных параметрах датчика проведены исследования, и результаты представлены в виде графика на рис 6.

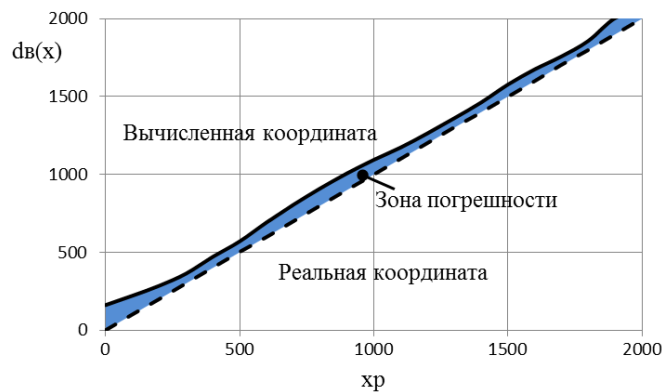


Рисунок 6 - Графики $d_{61}(X)=f(U_1, \varphi_1)$ при номинальном значении Z_0

Полученное уравнение вычислителя координат имеет вид:

$$d(X) = 3.657 - 10.528U_1 + 0.026\varphi_1 + 0.261U_1\varphi_1 + 4.658U_1^2 - 0.003\varphi_1^2. \quad (7)$$

Коэффициенты полинома вычислителя координат определены методом многомерной аппроксимации.

Из графиков, представленных на рис. 6, следует, что при вступлении поезда на участок приближения и номинальных значениях параметров датчика, погрешность не превышает 2.43% . или 48.6 м. при длине участка контроля 2000м.

Как уже отмечено, в реальных условиях эксплуатации изменяются первичные параметры рельсовой цепи, и, если в этом случае сравнить вычисленное значение координаты поезда $d_B(X)$ с реальной координатой $x_p(i)$, то получим ошибку $e_k(i)$, которую необходимо компенсировать:

$$e_k(i) = d_B(X) - x_p(i). \quad (8)$$

Сигнал ошибки $e_k(i)$ в системе инициализирует механизм управления обратной связью, цель которой заключается в минимизации $e_k(i)$ с последовательной корректировкой коэффициентов полинома C_{ki} . Эти корректировки направлены на пошаговое приближение вычисленной координаты $d_B(X)$ к реальной $x_p(i)$ (рис. 7). По дельта-правилу обозначим $C_{kj}(i)$ текущее значение коэффициента C_{kj} - признака $x_k(i)$ вектора $X(i)$ на шаге j -ой корректировки.

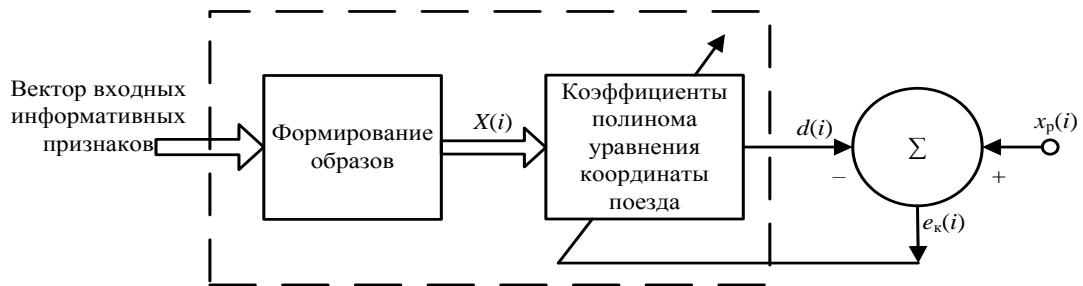


Рисунок 7 - Структурно-блочная схема системы распознавания с корректором

В соответствии с правилом корректировки, применяемым в нейронных сетях, изменение $\Delta C_{kj}(i)$, применяемое к коэффициенту C_{kj} , на шаге j -ой корректировки задается выражением:

$$\Delta C_{kj}(i) = \eta e_k(i) x_j(i). \quad (9)$$

Обязательным условием при дельта-корректировке является необходимость прямого измерения ошибки $e_k(i)$, а это при определении координаты поезда предполагает передачу по физическому или радиоканалу реальной координаты вступления поезда на участок приближения $x_p(i)$.

Вычислив величину изменения $C_{kj}(i)$, при недостаточной точности определения координаты, можно определить его новое значение для следующего шага корректировки $(i+1)$:

$$C_{kj}(i+1) = C_{kj}(i) \pm \Delta C_{kj}(i) \quad (10)$$

и т.д. по рекуррентному алгоритму, пока не будет достигнуто минимальное значение $e_k(i)$. Реализованный алгоритм функционирования системы обладает способностью адаптировать уравнение координаты к изменению первичных параметров рельсовых цепей.

В качестве примера реализации корректирующего алгоритма при изменении параметра рельсовой цепи - модуля ограничительного сопротивления - в работе исследован полином (7) уравнения координат поезда. На рис. 8. представлены графики $d_{el}(X)=f(U_1, \varphi_1)$.

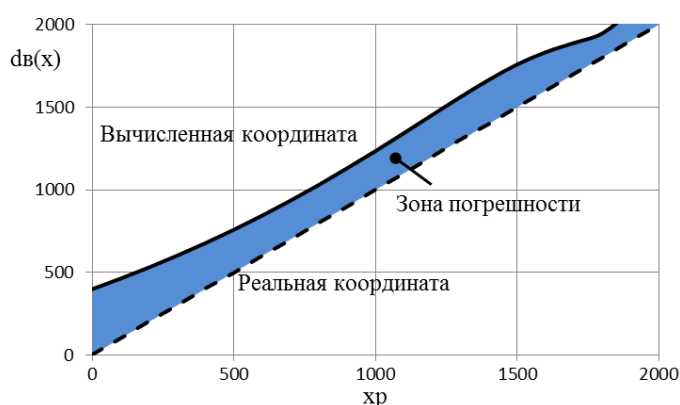


Рисунок 8 - Графики $d_{el}(X)=f(U_1, \varphi_1)$ при изменении Z_o на 0.05 Ом

При изменении влияющего параметра – сопротивления ограничителя - на 0.05 Ом, ошибка координаты, определённой по формуле (8) $e_k(i) = d_v(X) - x_p(i)$, составляет 13.0% или 260.0 м. (рис. 8). На рис. 9 представлены результирующие графики $d_{el}(X)=f(U_1, \varphi_1)$ после коррекции уравнения координаты.

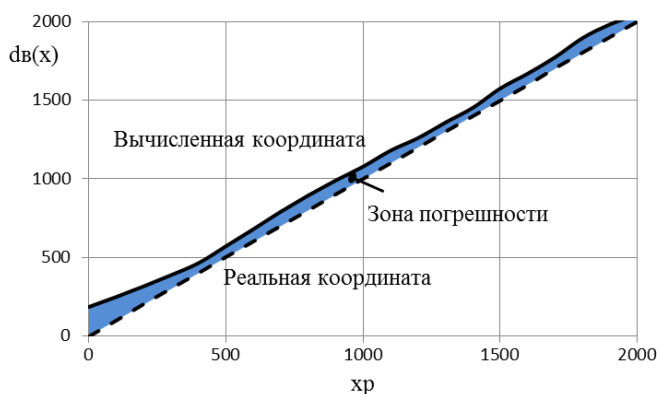


Рисунок 9 - Результирующие графики после корректировки уравнения координаты поезда

В результате корректировки коэффициентов уравнения координат погрешность составила 2.35% или 47.0 м. Новое, скорректированное, уравнение вычислителя координат поезда имеет вид:

$$d(X) = 3.563 - 10.492 U_1 - 0.040 \varphi_1 + 0.256 U_1 \varphi_1 + 5.133 U_1^2. \quad (11)$$

Как следует из сравнения графиков 7 и 9, ошибка определения координат скорректированным уравнением меньше первоначальной - на 0.08%.

Таким образом, методика корректировки уравнения, разработанная в работе, позволяет обеспечить минимизацию ошибки, появляющейся из-за нестационарности среды. Предложенный алгоритм обладает еще одним положительным свойством, а именно, процедура корректировки позволяет уточнить коэффициенты, полученные приближенным решением системы уравнений по методу многомерной аппроксимации, что существенно уменьшает погрешность вычисления координаты поезда.

В пятой главе разработан алгоритм функционирования переездной сигнализации с функцией корректировки уравнения вычисления координаты поезда и структурная схема информационно-управляющего устройства и информационного блока. Разработанный алгоритм функционирования инвариантно-управляющей системы управления переездной сигнализацией в зависимости от координаты поезда на участке приближения по результатам верификации вычисленной и реальной координаты поезда и корректировки коэффициентов полинома уравнения вычислителя координаты поезда реализован на микропроцессорной элементной базе как двухканальная схема с нагруженным резервом.

Произведенная оценка эффективности функционирования разработанного устройства и потенциальные возможности, в сравнении с существующими, показали, что максимальное время ожидания водителями открытия переезда после проследования поезда не превышает 3,2 минуты. Разработанное информационное табло позволяет оперативно информировать водителей о направлении движения поездов по путям переезда, количестве одновременно находящихся поездов на путях переезда и информировать о приближении поездов к переезду.

В заключении приведены результаты выполненных исследований и сформулированы основные выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проанализированы причины высокой аварийности на железнодорожных переездах, которые показали, что основными влияющими факторами нарушения безопасности являются: длительное время закрытого для движения автотранспорта переезда; отсутствие оперативной информации для водителей автотранспорта о меняющейся ситуации на переезде (время до появления запрещающего огня на переездном светофоре, а также о время до появления поезда на переезде и открытия переезда для движения автотранспорта; поездная ситуация на переезде, когда поезд, следующий по ближнему пути, закрывает водителям видимость поездов, следующих по другим путям).

2. Показано, что организационные и технические мероприятия способствуют увеличению безопасности и сокращению аварийности, но, с увеличением скорости и веса поездов, в соответствии с существующим жестким алгоритмом управления, увеличивается длина участка приближения, и при движении поездов с малой скоростью время ожидания открытия переезда увеличивается до 30-40 минут, а это приводит к тому, что водители, игнорируя запрещающий огонь переездного светофора, начинают движение, что отрицательно сказывается на безопасности на переездах, технологическом цикле перевозочного процесса.

3. Разработана методика селекции и исследования информативности первичных признаков, позволяющая формировать признаковое множество, как вне системы определения координат, так и с использованием уравнения координат поезда. В результате оценки информативности сформировано множество признаков из комплексных амплитуд напряжений и токов на входе рельсовой линии.

4. Обоснованы вид и сложность уравнения вычисления координат поезда на основе полинома Колмогорова – Габора, разработана методика самонастройки уравнения, основанная на коррекции ошибок вычисления местоположения поезда, сравнением вычисленного значения координаты с реальной, с последующей минимизацией результирующей ошибки рекуррентной вычислительной процедурой корректировки коэффициентов уравнения.

5. Проведены исследования возможностей алгоритма адаптивной самонастройки на двух примерах реализации уравнения вычислителя координат поезда и выявлено, что разработанный рекуррентный алгоритм корректировки уравнения позволяет обеспечить минимизацию ошибки. Получены результаты моделирования самонастройки, которые показывают, что увеличение ошибки вычисления координаты до 13% (260 м), из-за изменения наиболее влияющего параметра Z_0 на 5%, компенсируется корректировкой коэффициентов уравнения вычисления координаты до минимальной погрешности – 2,35% (47 м).

6. Создана и защищена патентом структурная схема микропроцессорной инвариантно - измерительной системы управления, рассматриваемая как частный случай адаптивной системы с идентификатором, состоящая из основной (информационной) системы, звена управления и канала самонастройки; а в качестве корректируемой модели использовано уравнение координаты поезда.

7. Произведена оценка эффективности разработанного устройства, которая показала, что максимальное время ожидания водителями открытия переезда после проследования поезда не превышает 3,2 минуты. Разработано цифровое табло, позволяющее оперативно информировать водителей о поездной ситуации на переезде, а также о времени приближения поездов к переезду.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

а) в изданиях, входящих в международную базу цитирования Web of Science

1. Герус, В.Л. Исследование информативности признаков при распознавании состояний рельсовых линий [Текст] / В.Л. Герус, Е.М. Тарасов, А.Е. Тарасова // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Том 28, №2. – С. 191-207.

б) в изданиях, входящих в перечень ВАК

2. Герус, В.Л. Оценка эффективности существующей переездной сигнализации [Текст] / В.Л. Герус, Д.В. Железнов, Е.М. Тарасов // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 6(54). – С. 58-61.

3. Герус, В.Л. Разработка инвариантного обучаемого идентификатора координаты поезда [Текст] / В.Л. Герус, Д.В. Железнов, А.Г. Котенко, Т.И. Михеева // Вестник СамГУПС. – 2017. – № 2. – С. 100-105.

4. Герус, В.Л. Временной и сезонный анализ происшествий на переездах [Текст] / В.Л. Герус, А.Е. Тарасова // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. - № 1(54). – С. 75-82.

5. Герус, В.Л. Оптимизация решающей функции вычислителя координат отцепов [Текст] / В.Л. Герус, А.Е. Тарасова // Вестник СамГУПС. – 2017. – № 4. – С. 11-17.

г) в других изданиях

6. Герус, В.Л. Методика определения решающей функции в задаче вычисления координаты динамического объекта [Текст] / В.Л. Герус, Е.М. Тарасов, С.В. Копейкин // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2016): сб. материалов междунар. конф. и молодежной школы - Самара, 2016.

в) патенты

7. Патент RU 2651379 Устройство управления автоматической переездной сигнализацией / Герус В.Л., Тарасов Е.М., Железнов Д.В. - заявл. 11.04.2016г., опубл. Б.И. 2018г., №11.

Основные положения и результаты исследований получены автором самостоятельно. Личный вклад автора в научных работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1] – разработан алгоритм исследования информативности; [2] – проведен сравнительный анализ различных систем ограждающих устройств на переездах; [3] – предложен принцип обеспечения инвариантности решающей функции; [4] – получены данные по временному диапазону возникновения происшествий; [5] – составлена блок-схема реализации принципа; [6] – разработан принцип определения сложности решающей функции; [7] – разработан алгоритм функционирования переездной сигнализацией уравнением координаты поезда.

Герус Владимир Леонидович

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
ПЕРЕЕЗДАХ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Подписано в печать «__» _____ 2018

Формат 60 × 84 1/16
Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,1
Заказ _____.

УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66