


На правах рукописи



**АКИНИН МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ**



**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ГОРОЧНЫХ  
СТРЕЛОК ОТ НЕСАНЦИОНИРОВАННОГО ПЕРЕВОДА**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МОСКВА – 2006

Работа выполнена в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ).

**Научный руководитель:** доктор технических наук,  
профессор В. И. Шелухин.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
профессор Р.А. Косилов  
кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник В.И. Астрахан

**Ведущая организация:** Российский государственный открытый  
технический университет путей сообщения  
(РГОТУПС).

Защита диссертации состоится «7» марта 2007 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.07 при Московском государственном университете путей сообщения (МИИТе) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.15, ауд. 1504.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 5 февраля 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 218.005.07,  
доктор технических наук,  
профессор



В. И. Шелухин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Для выполнения сортировочной работы широко используются различные специальные комплексы и системы, среди которых основными являются сортировочные горки. Эффективность процессов расформирования и формирования составов в значительной степени определяется качеством работы сортировочных горок и технологическими возможностями. Основной задачей повышения перерабатывающей способности сортировочных горок является увеличение скорости роспуска вагонов при соблюдении требований безопасности.

На сети железных дорог Российской Федерации насчитывается 123 станции, имеющие 147 сортировочных горок. В соответствии с реорганизацией структуры управления перевозочным процессом сортировочные станции сети железных дорог России поделены на две категории: сетевые и региональные, утверждены их перечни. Несмотря на относительно небольшое количество сортировочных станций на железных дорогах России, их значимость неуклонно возрастает. Об этом свидетельствует внимание ОАО «РЖД» к комплексной реконструкции сортировочных горок и станций.

Выполнить переход на качественно новый уровень переработки вагонов, позволяющий обеспечить выполнение перспективного плана формирования без коренного обновления и комплексной реконструкции средств автоматизации и механизации на сортировочных станциях и горках, невозможно ввиду несоответствия технической оснащенности объектов современным требованиям.

Значительный вклад в совершенствование горочных устройств и систем автоматизации и механизации, проектирования сортировочных горок внесли известные ученые и специалисты: П.В. Бартенев, А.М. Долаберидзе, С.В. Земблинов, С.П. Бузанов, П.М. Карпов, В.Е. Павлов, В.Д. Прокинова, Г.А. Красовский, А.Н. Шабельников, В.Д. Никитин, В.Д. Ратников, Н.О. Рогинский, Б.А. Родимов, И.И. Страковский, Л.Б. Тишков, Н.И. Федотов, Н.М. Фонарев, Н.А. Никифоров, Ю.В. Ваванов, А.Н. Перов, В.С. Скабалланович, В.М. Дудниченко, А.Е. Штанке, Е.М. Шафит, Н.Р. Ющенко, А.А. Яблонский, В.Н. Иванченко, В.П.

Шейкин, В.И. Шелухин, В.А. Кобзев, А.Г. Савицкий, В.А. Парилов, А.П. Дзилиев, Ю.Г. Боровков, И.Н. Перов, Н.К. Модин, В.Н. Соколов и другие.

В системах горочной автоматической централизации (ГАЦ) узловыми устройствами, обеспечивающими безопасность движения отцепов по спускной части сортировочной горки, являются стрелочные участки. В последнее время на сортировочных горках появились стрелочные участки, оборудованные переводами типа Р65 с марками крестовин 1/6 и 1/9 вместо используемых долгое время переводов типов Р45 и Р50 с маркой крестовины 1/6. Возникшая ситуация вызвала необходимость адаптации существующих средств защиты к новым участкам контроля при условии выполнения современных требований безопасности.

Применяемые многие годы средства защиты, включая рельсовые цепи, фотоэлектрические датчики и др., морально устарели и исчерпали свои возможности. Необходимость замены устаревших датчиков, как ненадежных, требует новых подходов к созданию современных устройств контроля стрелочных участков, обеспечивающих: непрерывный физический контроль за перемещением вагонов в стрелочной зоне, минимизацию ошибок обнаружения любых типов грузовых вагонов, непрерывный контроль собственной работоспособности и адаптацию к различным стрелочным переводам типов Р50, Р65 с марками крестовин 1/6 и 1/9.

Создание технического средства, автономно решающего поставленную задачу, в ближайшей перспективе маловероятно, поэтому предлагается объединять работу существующих и модернизируемых устройств с целью выполнения поставленных требований, обеспечивая их комплексирование, что позволит создать надежную защиту горочных стрелок от несанкционированного перевода их под вагонами.

Программой по безопасности горочных устройств на 2006–2007 годы запланировано оборудование более 1000 из 2482 централизованных стрелок современными индуктивно-проводными и радиотехническими датчиками.

В числе важнейших задач, благодаря которым можно выйти на качественно новый уровень автоматизации и механизации сортировочных процессов, стоит

задача комплексированной защиты горочных стрелок от несанкционированного перевода их под вагонами.

**Целью диссертационной работы** является создание научно обоснованных теоретических и практических методов комплексирования средств защиты горочных стрелок от несанкционированного перевода в системах автоматизации сортировочных станций, обеспечивающих: непрерывный физический контроль перемещения всех типов грузовых вагонов, эксплуатируемых на сети железных дорог в ограниченной стрелочной зоне; непрерывный контроль собственной работоспособности с высокой достоверностью и в любых погодных условиях с прогнозированием предотказных состояний; повышение эффективности выполнения плана расформирования и формирования составов; безопасность отпуска при возникновении нештатных ситуаций.

**Основные направления выполненных исследований:**

– сформулированы требования и критерии сравнительной оценки средств защиты горочных стрелок, обеспечивающих безопасность отпуска вагонов по маршрутам следования, и предложены датчики, являющиеся наиболее перспективными для защиты горочных стрелок: радиотехнический и индуктивно-проводной;

– обоснована необходимость метода комплексирования нескольких напольных датчиков контроля подвижных единиц, так как ни один из них в полной мере не удовлетворяет современным требованиям обнаружения вагонов в стрелочной зоне;

– разработана математическая модель резонансной кривой коротких индуктивных шлейфов, укладываемых в колею рельсового пути и используемых в качестве чувствительного элемента индуктивно-проводного датчика (ИПД) обнаружения вагонов, с учетом влияния рельсовой линии (РЛ) и схема замещения шлейфа, уложенного в колею рельсового пути;

– показана целесообразность реализации частотного признака обнаружения вагонов ИПД и укладки индуктивного шлейфа в форме “восьмерка” на всей длине стрелочного участка, включая защитный участок и остряки стрелки, и сформулированы рекомендации по выбору порогов обнаружения;

- разработаны структура и алгоритмы блока совместного принятия решения комплексированного обнаружителя, а также методика расчета характеристик достоверности обнаружения вагонов ИПД и комплексированным датчиком защиты горочных стрелок на базе радиотехнического и индуктивно-проводного датчиков;
- разработаны нормативные требования определения границ горочного стрелочного участка, обеспечивающие безопасность проезда централизованных стрелок и минимизацию интервала попутно скатывающихся отцепов;
- сформулированы рекомендации по эксплуатации ИПД в условиях действующей сортировочной горки для защиты стрелочных переводов с марками крестовин 1/6, 1/9, 1/11 из рельсов типа Р65.

**Методы исследований.** В работе использованы методы математического, физического и имитационного моделирования, численные методы расчета и анализа, математический аппарат теории статистических решений, натурные испытания.

**Достоверность научных положений** подтверждается соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также работоспособностью разработанных технических решений в реальных условиях эксплуатации.

Результаты работы доложены и получили одобрение на научно-практических конференциях.

**Научная новизна.** Впервые предложено комплексирование датчиков обнаружения вагонов на горочных стрелках, позволяющее повысить безопасность роспуска вагонов по маршрутам следования в системах автоматизации сортировочных станций. Разработана методика комплексирования средств защиты горочных стрелок от несанкционированного перевода их под вагонами.

Разработаны методы и математические модели оценки характеристик достоверности ИПД и комплексированного обнаружителя по различным критериям и признакам обнаружения вагонов с учетом влияющих факторов.

Получены количественные оценки первичных параметров коротких шлейфов ИПД, используемого для защиты горочных стрелок от несанкционированного перевода их под движущимися вагонами и контроля заполнения путей сортировочного парка в реальных условиях эксплуатации.

Разработаны методика расчета характеристик достоверности комплексированных обнаружителей вагонов, алгоритмы принятия решения комплексированными обнаружителями, рекомендации по выбору критериев и порогов обнаружения вагонов на стрелочных участках и впервые получены характеристики достоверности индуктивно-проводного датчика по различным критериям и признакам обнаружения вагонов.

**Практическая ценность работы** заключается в разработке нормативных требований к определению границ горочного стрелочного участка, обеспечивающих безопасность проезда централизованных стрелок и минимизацию интервала попутно скатывающихся отцепов.

Разработанные и реализованные на практике рекомендации по укладке шлейфов ИПД в стрелочной зоне при использовании частотного признака обнаружения позволили унифицировать применение их как в задачах комплексирования датчиков защиты централизованных горочных стрелок от несанкционированного перевода их под вагонами, так и в системах контроля заполнения путей сортировочного парка.

Сформулированы рекомендации по выбору критериев обнаружения вагонов на стрелочных участках сортировочных горок и по эксплуатации ИПД в условиях действующей сортировочной горки для защиты стрелочных переводов с марками крестовин 1/6 и 1/9 из рельсов типа Р65.

Реализация разработанных алгоритмов принятия решения на базе радиотехнического и индуктивно-проводного датчиков с использованием блока комплексированной защиты стрелочного перевода (БКЗС) позволяет обеспечивать обнаружение всех типов вагонов, распускаемых с сортировочной горки, с высокой достоверностью и в любых погодных условиях при соблюдении требований безопасности.

**Реализация результатов работы.** Научные результаты диссертационной работы использованы при разработке технического задания на БКЗС для применения на механизированных и автоматизированных сортировочных горках и устройства комплексированной защиты горочных стрелок от несанкционированного перевода их под вагонами (УКЗС). В настоящее время проводятся расширенные эксплуатационные испытания разработанных устройств на железных дорогах России.

Результаты исследований автора использованы при разработке рекомендаций по размещению, юстировке и включению модулей радиотехнического датчика РТД-С в эксплуатацию для контроля стрелочных участков с различным путевым развитием.

Результаты исследований автора, изложенные в опубликованных работах, использованы в учебном процессе при подготовке специалистов по специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте».

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались на заседаниях и научных секциях кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Московского государственного университета путей сообщения, на научно-практических конференциях «Безопасность движения поездов» в г. Москве в 2004 - 2006 г. и «ТРАНСЖАТ» в г. Санкт-Петербурге в 2004 и 2006 г.

**Публикации.** Материалы, отражающие основное содержание работы, изложены в 6 печатных работах, в том числе рекомендованных ВАК России.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Она содержит 190 страниц основного текста, 50 иллюстраций и 13 таблиц. Список использованных источников содержит 64 наименования.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность проблемы создания комплексированной защиты горочных стрелок от несанкционированного перевода, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования в системах ГАЦ, обеспечивающие безопасность движения отцепов по маршрутам следования.

**В первой главе** раскрыто состояние вопроса: сформулированы требования и критерии сравнительной оценки датчиков обнаружения подвижных единиц для использования в системах автоматизации сортировочных станций, обеспечивающие безопасность роспуска вагонов по маршрутам следования, и предложены датчики, являющиеся наиболее перспективными для защиты горочных стрелок: радиотехнический и индуктивно-проводной.



На современном этапе развития средств железнодорожной автоматики происходит резкое расширение области применения и усложнение функций напольных датчиков обнаружения и измерения параметров движения подвижных единиц. Задача обнаружения подвижных единиц охватывает практически все ответственные системы управления технологическими процессами сортировочных станций на сети железных дорог России.

Многие задачи систем автоматизации сортировочного процесса решаются с использованием путевых датчиков обнаружения: защиты стрелочных участков от несанкционированного перевода стрелок под вагонами, счета осей, pedalного типа для контроля отцепов на тормозных позициях, рельсовых цепей систем ГАЦ и т.п.

Все датчики обнаружения подвижных единиц в системах горочной автоматизации относятся к устройствам, обеспечивающим надежное функционирование систем и безопасность отпуска. Поэтому к ним предъявляются повышенные требования по инерционности, зоне обнаружения и достоверности обнаружения подвижных единиц в ограниченной зоне контроля.

Анализ условий работы и требований, предъявляемых к напольным датчикам обнаружения в системах горочной автоматизации, показывает, что наиболее полно они сконцентрированы в задачах, решаемых системами ГАЦ. К ним относятся напольные условия эксплуатации в любых климатических зонах, необходимость обнаружения в фиксированной зоне стрелочного участка, малое время анализа для принятия решения, высокая достоверность обнаружения.

Темпы модернизации и обновления устройств, проводимые за счет капитального ремонта железных дорог и реконструкции сортировочных станций, недостаточны для того, чтобы переломить негативную тенденцию физического и морального старения технических средств защиты горочных стрелок, созданных преимущественно в семидесятые годы. Морально и физически устарело более 50% горочных путевых датчиков, более половины из них выработало свой ресурс. Уже сегодня сохранение существующего положения может привести к нарастанию потока сбоев и отказов технических средств.

Необходимо существенное обновление эксплуатируемых напольных датчиков обнаружения и создание нового поколения технических средств, соответствующих современным требованиям, обеспечивающих надежную защиту горочных стрелок от несанкционированного перевода их под вагонами при соблюдении требований безопасности.

Созданы предпосылки, позволившие обобщить и сформулировать требования к напольным датчикам защиты стрелок, отражающие современные подходы к созданию и эксплуатации технических средств контроля стрелочных участков сортировочных горок: эксплуатация в любых погодных условиях и климатических зонах при непрерывном функционировании; минимизация ошибок обнаружения любых типов грузовых вагонов, эксплуатируемых на сети железных дорог, как неподвижных, так и движущихся в диапазоне скоростей от 0 до 40 км/ч; зона обнаружения, отсчитываемая по положению первой и последней оси обнаруживаемого отцепа, должна быть не меньше нормативной длины стрелочной зоны; адаптация к различным стрелочным переводам типов Р50 и Р65 с марками крестовин 1/6 и 1/9; непрерывный физический контроль перемещения вагонов в стрелочной зоне с возможностью непрерывного тестирования и диагностики их работоспособности с прогнозированием предотказных состояний; алгоритмические и схемотехнические решения должны удовлетворять требованиям безопасности, предъявляемым к устройствам железнодорожной автоматики.

Анализ наиболее распространенных технических средств защиты горочных стрелок показывает, что ни один из датчиков самостоятельно не может обеспечить заданные жесткие требования к обнаружению подвижных единиц в стрелочной зоне. Поэтому для решения поставленной задачи необходимо совмещать их работу. Вариантом решения этой задачи могут быть известные методы: дублирование, резервирование и комплексирование.

Наиболее перспективными из современных датчиков, используемых в задачах защиты стрелок от несанкционированного перевода, являются РТД-С и ИПД. Эти датчики реализуют различные принципы действия, и их совместная работа может стать эффективным средством повышения безопасности проезда централизованных горочных стрелок.

Однако если работа радиотехнических датчиков РТД-С исследована достаточно полно, то работа ИПД исследована весьма ограниченно. Особенно это относится к использованию ИПД для защиты стрелок.

В диссертационной работе исследованы особенности функционирования ИПД, решающего задачу обнаружения вагонов на участках горочных стрелок и путях сортировочного парка.

Во второй главе приведены результаты исследований коротких индуктивных шлейфов, укладываемых в колею рельсового пути и используемых в качестве чувствительного элемента ИПД, позволившие разработать математическую модель его резонансной кривой с учетом влияния РЛ и схему замещения шлейфа, уложенного в колею рельсового пути.

В результате экспериментальных исследований были получены количественные оценки первичных параметров шлейфов ИПД системы контроля заполнения путей, укладываемых в рельсовую колею в форме “восьмерка” и “прямоугольник” в реальных условиях эксплуатации. Выявлены факторы, влияющие на устойчивость работы ИПД в парке заполнения путей, и сформулированы рекомендации по эксплуатации шлейфов в реальных условиях работы на сортировочных горках.

Индуктивный шлейф, размещаемый в зоне обнаружения вагонов, является чувствительным элементом ИПД и представляет собой индуктивность  $L_{мл}$ . В области частот порядка нескольких десятков килогерц все более заметную роль играют скин-эффект и емкость шлейфа  $C_{мл}$ . Поэтому индуктивный шлейф рассматривается как колебательный контур с первичными параметрами  $L_{мл}, r_{мл}, C_{мл}, g_{мл}$ , распределенными по всей длине, и своей частотой настройки  $F_{рез\ мл}$ .

В процессе исследований использованы известные результаты работы РЛ как линий с распределенными параметрами  $Z_p$  и  $Z_v$ .

При укладке индуктивного шлейфа в рельсовую колею возникают взаимные влияния, определяемые величиной связи  $m_v$ . Из практического опыта известно, что взаимосвязь между индуктивными шлейфами и РЛ имеет чисто реактивный характер и определяется в основном взаимной индуктивностью шлейфа и рельсовых нитей. Показано, что между контурами существует в основном индуктивная связь.

ИПД представляет собой резонансный автогенератор с одиночным колебательным контуром. В работе выполнен обобщенный анализ и выведены единые соотношения для резонансной кривой шлейфа ИПД, уложенного в колею РЛ. Используются фундаментальные положения теории линейных цепей с постоянными и периодически изменяющимися параметрами и ограничения, широко применяемые при использовании частотных методов анализа.

В результате разработана математическая модель взаимодействия коротких индуктивных шлейфов ИПД и нормально разомкнутой РЛ как системы связанных контуров (рис. 1).

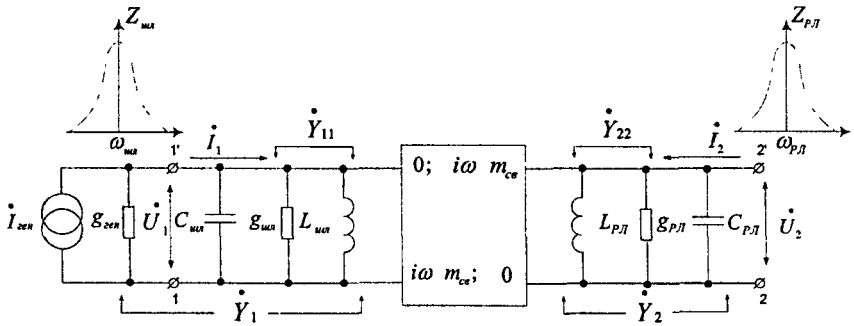


Рис. 1 Модель взаимодействия индуктивного шлейфа ИПД и нормально разомкнутой РЛ

При выводе единых расчетных соотношений применялись характеристические системы параметров, широко используемых в теории четырехполюсников.

Полезная функция цепи связи в полной мере описывается двумя параметрами  $\dot{Y}_{12} = \dot{Y}_{21} = i\omega m_{св}$  прямой и обратной передачи четырехполюсника.

В работе найдено выражение для вторичных параметров А и В идеализированного четырехполюсника, по которым можно судить о степени и характере взаимной связи между контурами:

$$A(Y) + iB(Y) = -\dot{Y}_{12} \cdot \dot{Y}_{21}. \quad (1)$$

Показано, что в рассматриваемом случае имеет место чисто вещественная взаимная и однородная связь  $A(Y) = (\omega m_{св})^2$  и  $B(Y) = 0$ .

Резонансную кривую следует трактовать как зависимость контрольного коэффициента по отдаваемой мощности от частоты расстройки. В принятых на рис. 1 обозначениях искомый коэффициент передачи при любых соотношениях между частотами резонанса шлейфа и рельсовой линии описывается выражением:

$$K_p = 4 \frac{|\dot{Y}_{21}|^2}{g_{\text{шл}} g_{\text{рл}}} \frac{1}{\left| \frac{\dot{Y}_1}{g_{\text{шл}}} \frac{\dot{Y}_2}{g_{\text{рл}}} + a + ib \right|^2}. \quad (2)$$

Здесь  $a$  и  $b$  – вторичные безразмерные параметры схемы, характеризующие систему в целом и определяемые из равенств:

$$a(Y) + ib(Y) = -\frac{\dot{Y}_{12}}{g_{\text{шл}}} \frac{\dot{Y}_{12}}{g_{\text{рл}}}. \quad (3)$$

$$a(Y) = \frac{A(Y)}{g_{\text{шл}} g_{\text{рл}}}; \quad b(Y) = \frac{B(Y)}{g_{\text{шл}} g_{\text{рл}}}. \quad (4)$$

Величины  $a$  и  $b$  инвариантны по отношению к любой системе первичных параметров. Поэтому заменой символов в выражениях 3 и 4 получим соответствующие формулы для расчета параметров  $a$  и  $b$  при использовании других систем первичных параметров.

Введен ряд инвариантных по отношению к любой системе первичных параметров безразмерных величин:

$$\xi = \frac{2\Delta f}{\sqrt{\Pi_{\text{шл}} \Pi_{\text{рл}}}}; \quad \xi_0 = \frac{2\Delta f}{\sqrt{\Pi_{\text{шл}} \Pi_{\text{рл}}}}; \quad (5)$$

$$\nu = \frac{1}{2} \left( \frac{\Pi_{\text{шл}}}{\Pi_{\text{рл}}} + \frac{\Pi_{\text{рл}}}{\Pi_{\text{шл}}} \right), \quad (6)$$

где  $\xi$  – обобщенная расстройка текущей частоты,  $\xi_0$  – фиксированная обобщенная расстройка между резонансными частотами  $f_{\text{шл}}$  и  $f_{\text{рл}}$  контуров,  $\nu$  – фактор полосы.

Обозначив:

$$a_s = a + \xi_0^2; \quad (7)$$

$$b_s = b - \xi_0 \left( \sqrt{\frac{\Pi_{\text{рл}}}{\Pi_{\text{шл}}}} - \sqrt{\frac{\Pi_{\text{шл}}}{\Pi_{\text{рл}}}} \right), \quad (8)$$

после ряда преобразований получим искомое аналитическое выражение для нормированной резонансной кривой:

$$\chi_p(\xi) = \frac{K_p(\xi)}{K_p(0)} = \frac{(1 + a_s)^2 + b_s^2}{\xi^4 - 2\xi^2(a_s - \nu) + \xi \cdot b_s \sqrt{8(\nu + 1) + (1 + a_s)^2 + b_s^2}} \quad (9)$$

Нормированный коэффициент передачи по напряжению при этом

$$\chi_{\nu}(\xi) = \sqrt{\frac{(1+a_2)^2 + b_2^2}{\xi^4 - 2\xi^2(a_1 - \nu) + \xi \cdot b_1 \cdot \sqrt{8(\nu+1)} + (1+a_1)^2 + b_1^2}} \quad (10)$$

Выражения 9 и 10 характеризуются общностью и могут быть применимы для расчета резонансной кривой, а следовательно избирательности и полосы пропускания широкого класса резонансных систем, включая различные типы пассивных двухконтурных цепей. Эти формулы справедливы как для цепей с постоянными, так и с периодически изменяющимися параметрами, при любых соотношениях между резонансными частотами контуров, произвольном соотношении между полосами пропускания  $P_{\text{шн}}$  и  $P_{\text{пл}}$  контуров и при наличии произвольной фиксированной расстройки между контурами. Кроме того, в формулах не было сделано никаких ограничений относительно составляющих  $a$  и  $b$  коэффициента согласования.

В результате проведенных экспериментальных исследований в сортировочном парке станции Бекасово-Сортировочное Московской ж.д. были получены количественные оценки первичных параметров шлейфов в форме “восьмерка” и “прямоугольник”, а также подтверждена достоверность исходной математической модели и допущений.

На основании проведенных исследований установлено, что конфигурация шлейфа в форме “восьмерка” является перспективной при использовании в качестве чувствительного элемента ИПД, поскольку зона чувствительности совпадает с его геометрическими размерами, а состояние РЛ не оказывает влияние на первичные параметры  $L_{\text{шн}}, r_{\text{шн}}, C_{\text{шн}}, g_{\text{шн}}$  и частоту настройки  $F_{\text{рез шн}}$  при отсутствии вагонов. Его добротность в два раза выше по сравнению с добротностью шлейфа в форме “прямоугольник”.

При исследовании воздействия вагонов на параметры шлейфов установлено, что в большей мере на шлейфы оказывают влияние шунты колесных пар тележек вагона, образующие с рельсовыми нитями короткозамкнутый виток, что приводит к изменению собственной частоты настройки в среднем на 20%. Металлическая масса вагона оказывает дополнительное воздействие, приводящее к увеличению частоты расстройки в среднем на 1,5%.

На рис. 2 показано изменение собственной частоты настройки шлейфа  $F_{\text{рез шн}}$  в форме “восьмерка” при перемещении двоянного шунта – кривая 1, четырех шунтов – кривая 2 и платформы – кривая 3. Кривая 4 построена для

случая запитки шлейфа в центре при перемещении вагона в зоне контроля. Нулевая точка соответствует размещению первого шунта (оси вагона) на границе шлейфа.

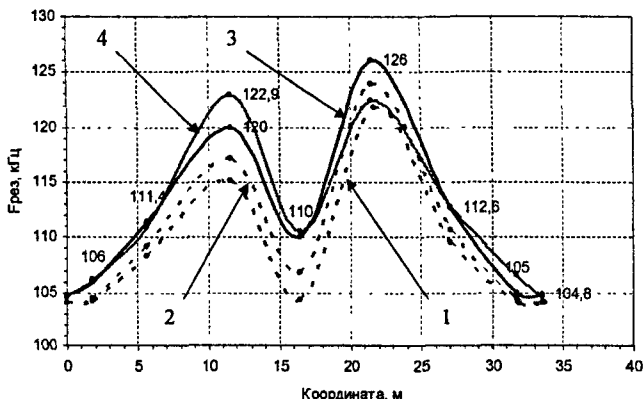


Рис. 2 Изменение резонансной частоты шлейфа в форме “восьмерка” при воздействии шунтами и реальным вагоном

Результаты исследований подтвердили, что частотный признак обнаружения подвижных единиц весьма эффективен, поскольку изменение частоты на 1 метр перемещения внутри зоны обнаружения составляет около 1,5% или 1500Гц. При настройке шлейфа на частоты ниже собственного резонанса чувствительность шлейфов обеих конфигураций к обнаружению вагона резко снижается. На частоте собственного резонанса (100кГц) изменение частоты составляет 21%, на частоте 80 кГц – 15%, а на частоте 60 кГц – 12%.

В диссертации получены характеристики изменения параметров индуктивных шлейфов как колебательных контуров при наличии таких дестабилизирующих факторов, как температура и влажность. Показано, что для уменьшения влияния отмеченных факторов и сохранения необходимой чувствительности к обнаружению подвижных единиц частота настройки шлейфа должна быть в два раза ниже собственной частоты резонанса. Для шлейфов контроля заполнения путей эти частоты составляют 50–60кГц.

Результаты, полученные в экспериментальных исследованиях (крутизна характеристики и воздействие вагона на шлейф), не в полной мере

распространяются на шлейфы стрелочных зон. Связанно это с тем, что индуктивные шлейфы защиты стрелок функционируют в условиях, когда размеры рельсовой линии соизмеримы с размерами самих шлейфов  $L_{рл} \approx L_{шл}$  и ограничены изолирующими стыками на границах стрелочного участка.

В третьей главе научно обоснована целесообразность комплексирования путевых датчиков обнаружения вагонов. Разработаны алгоритм и методика расчета характеристик достоверности ИПД по различным критериям и признакам обнаружения с учетом влияющих факторов.

Сформулированы критерии и принципы, позволившие разработать методику расчета характеристик достоверности комплексированных обнаружителей вагонов, рекомендации по выбору критериев обнаружения вагонов на стрелочных участках и алгоритмы принятия решения комплексированными обнаружителями. Рассмотрены вопросы технической реализации комплексированной защиты горочных стрелок.

Использование известных методов построения технических средств, таких как дублирование и резервирование, предназначенных в основном для повышения их надежности, не позволяет достигнуть требуемых показателей достоверности. В этой связи предлагаемый метод комплексирования технических средств, используемый в частности, для задачи обнаружения подвижных единиц в ограниченной зоне контроля, восполняет недостатки, свойственные методам дублирования и резервирования.

Комплексирование – это метод подбора совместного включения каналов обнаружения различных датчиков, в результате которого формируется общее решение: занят или свободен контролируемый участок. В качестве комплекслируемых устройств (датчиков) могут использоваться два и более технических средств, работающих параллельно, реализующих различные физические принципы действия и решающих одну и ту же задачу обнаружения.

Эти датчики объединены единым устройством совместной обработки сигналов обнаружения, которое формирует интегральный сигнал управления. Структурные связи между комплекслируемыми датчиками выбираются с целью усиления положительных качеств и компенсации или минимизации отрицательных.

Критерием эффективности комплексирования датчиков обнаружения является вероятность ошибки обнаружителя:



$$P_{ош} = r_{01} P(H_1) \cdot P_{np} + r_{01} P(H_0) \cdot P_{лф}, \quad (12)$$

где  $P(H_1)$  – вероятность появления транспортного объекта в контролируемой зоне;  $P(H_0)$  – вероятность отсутствия транспортного объекта в контролируемой зоне;  $r_{01}$ ,  $r_{10}$  – стоимости ошибок пропуска и ложной тревоги соответственно.

Решение о целесообразности комплексирования должно быть основано на оценке возможного использования технических средств по вероятностям  $P_{np}$  и  $P_{лф}$ . Такой подход является общим как при необходимости модернизации действующих систем железнодорожной автоматики, так и при разработке новых перспективных систем управления движением отцепов на сортировочных горках.

Рассмотрены характеристики достоверности учетом влияющих факторов датчиков, используемых в настоящее время для защиты горочных стрелок: нормально-разомкнутой рельсовой цепи, точечных педального типа, радиотехнического РГД-С и ИПД.

Проведен анализ статистических характеристик и разработаны методика и алгоритмы расчета характеристик достоверности ИПД при условии нормального распределения плотности вероятности мгновенных значений сигналов и помех.

На рис. 3 представлены диаграммы формирующие характеристики достоверности ИПД при использовании частотного признака обнаружения.

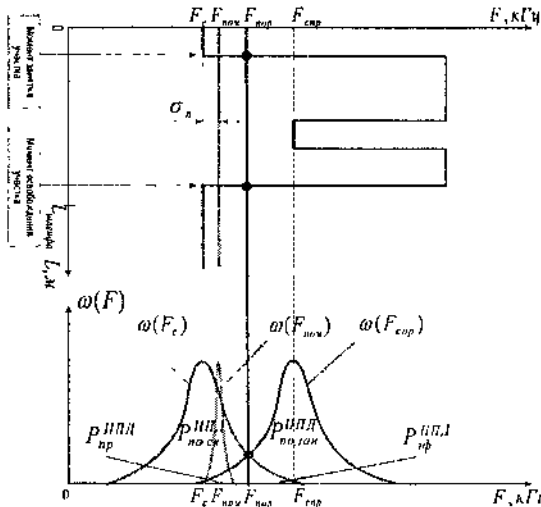


Рис. 3 Диаграммы, отражающие процесс обнаружение вагонов ИПД по частотному признаку

С целью повышения достоверности обнаружения вагонов ИПД необходимо стремиться к уменьшению возможности появления сигнала просачивания  $F_{сп}$ , который определяется в основном чувствительностью датчика к конструкции вагонов. Это достигается путем правильной (оптимальной) настройки автогенератора, выбором частоты настройки шлейфа и оптимального порога срабатывания  $F_{пор}$ , при котором обеспечивается минимум вероятности ошибки.

На рис. 4 и 5 приведены расчетные характеристики достоверности ИПД для реальных соотношений сигнал-помеха при изменении порога обнаружения в соответствии с критериями обнаружения по частотному признаку.

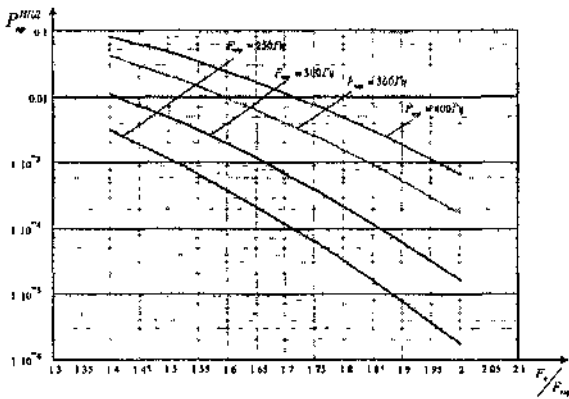


Рис. 4 Характеристики вероятности пропуска ИПД

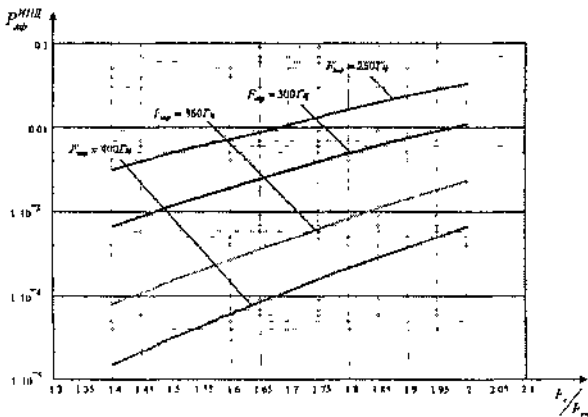


Рис. 5 Характеристики вероятности ложной фиксации ИПД

Амплитудный признак обнаружения вагонов в ИПД не позволяет добиться требуемых характеристик достоверности ввиду низкой помехозащищенности, сильной зависимости уровня полезного сигнала и помех от факторов климатического и эксплуатационного характера, а также зависимости уровня порогового напряжения от нестабильности источника питания. В связи с этим частотный признак в ИПД является определяющим в задачах обнаружения вагонов в стрелочных зонах.

Показано, что для автономного обнаружителя риск ошибок, связанных с пропуском и ложной фиксацией объекта, приводит к одинаково опасным последствиям, связанным с боем и сходом вагонов, поэтому предпочтение при выборе порогового уровня следует отдавать критериям оптимального наблюдателя и двухпороговому.

При использовании комплексированного обнаружителя выбор порогового уровня для датчиков, входящих в его состав, должен производиться по критерию Неймана-Пирсона. Получаемые при этом вероятности ошибки при совместной работе ИПД с РТД-С достигают  $P_{пр} \leq 10^{-13}$  и  $P_{лф} \leq 10^{-4}$ .

Реализация метода комплексирования на базе современных датчиков ИПД и РТД-С объединяющего их работу в блоке комплексированной защиты стрелки (БКЗС), позволяет обеспечить высокую достоверность функции контроля занятости горочного стрелочного участка в реальных условиях эксплуатации.

В четвертой главе сформулированы нормативные требования к определению границ горочного стрелочного участка, обеспечивающие безопасность проезда централизованных стрелок и минимизацию интервала попутного следования отцепов.

Выполнены исследования, связанные со спецификой функционирования индуктивных шлейфов ИПД на стрелочных участках сортировочных горок. Проведенные исследования позволили определить чувствительность индуктивно-проводного датчика к обнаружению вагонов в стрелочной зоне в зависимости от типа кабеля и количества витков в шлейфе, а также влияние горочных рельсовых цепей на характеристики обнаружения. Сформулированы рекомендации по эксплуатации ИПД в целях защиты горочных стрелок от несанкционированного

перевода под вагонами для стрелочных переводов различных типов и марок крестовин.

При комплексировании нескольких датчиков обнаружения необходимо обеспечивать синхронизацию их работы на границах участка контроля, что особенно актуально при защите централизованных горочных стрелок.

Нормативная длина участка контроля  $L_{\text{нн\_норм}}$  определяется длиной защитного участка  $l_{\text{зщц}}$  и длиной острия стрелки  $l_{\text{остр}}$ :

$$L_{\text{нн\_норм}} = l_{\text{зщц}} + l_{\text{остр}}. \quad (14)$$

Длина нормативного защитного участка, определяется исходя из максимальных скоростей  $V_{\text{макс}}$  движения отцепов, нормативного значения времени перевода стрелки  $t_n$ , времени срабатывания  $t_{\text{ср}}$  исполнительных элементов и находится по формуле:

$$l_{\text{зщц}} = V_{\text{макс}} (t_n + t_{\text{ср}}) \quad (15)$$

Перечисленные параметры являются основой для расчетов нормативной (минимально допустимой) длины защитного участка, который необходим для обеспечения безопасности маршрутов движения отцепов по стрелочным зонам.

Длины острия являются нормативными величинами, определяемыми конструкциями стрелочных переводов. Следует считать, что момент освобождения острия последней колесной парой отцепа является моментом освобождения нормативного горочного стрелочного участка.

Важным фактором является согласование нормативной длины участка контроля и длины зоны обнаружения датчиком. При этом идеальным согласованием является равенство этих длин и обязательность совпадения их границ.

Экспериментально подтверждена целесообразность использования индуктивных шлейфов ИПД для защиты горочных стрелок и реализации частотного признака обнаружения.

В результате проведенных исследований ИПД на станциях Московской ж.д. рекомендован тип кабеля и параметры индуктивного шлейфа для

обеспечения необходимой чувствительности по частоте при обнаружении различных типов вагонов.

Показано, что при использовании четырех – и пятивитковых шлейфов на рабочих частотах 80 и 50кГц и пороге обнаружения  $F_{\text{пор}} = 200\text{Гц}$ , обеспечивается обнаружение всех типов грузовых вагонов, отпускаемых на сортировочных горках, с высокой достоверностью и в любых погодных условиях. При этом изменение частоты генерации датчика под действием вагона не зависит от скорости движения, перепадов температур и климатических факторов.

Результаты экспериментальных исследований показали, что горочная рельсовая цепь оказывает незначительное влияние на характеристики обнаружения и вносит асимметрию на границах зоны обнаружения. Крутизна частотной характеристики пятивиткового шлейфа на границах при отключенной рельсовой цепи составляет: при въезде – 300Гц/м, при выезде – 300 Гц/м.

В диссертационной работе на основе произведенного анализа стрелочных переводов сформулированы рекомендации по эксплуатации ИПД для защиты как одиночных, так и сдвоенных горочных стрелок от несанкционированного перевода под вагонами. При этом границы зоны обнаружения совпадают с моментом вступления первой колесной пары на границу защитного участка и выездом последней оси с острия стрелки, а линейные размеры шлейфа привязаны к острию острия стрелки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований в рамках диссертационной работы получены следующие основные научные и прикладные результаты:

1. Показано, что ни одно из эксплуатируемых технических средств защиты горочных стрелок от несанкционированного перевода их под вагонами не обеспечивает в полной мере безопасности проезда стрелок.

2. Научно обоснована целесообразность метода комплексирования путевых датчиков обнаружения вагонов на стрелочных участках сортировочных горок в системах автоматизации сортировочных станций, обеспечивающего безопасность роспуска вагонов по маршрутам следования.

3. Впервые исследованы короткие индуктивные шлейфы генераторных датчиков обнаружения вагонов, работающих в условиях влияния рельсовых

цепей. Индуктивный шлейф предложено рассматривать как колебательный контур с распределенными первичными параметрами  $L_{шт}, r_{шт}, C_{шт}, g_{шт}$  и собственной частотой настройки  $F_{шт}$ . Выявлены факторы, влияющие на устойчивость работы индуктивно-проводного датчика в условиях эксплуатации сортировочной горки в сортировочном парке и стрелочных зонах.

4. Получены количественные оценки первичных параметров коротких индуктивных шлейфов в условиях контроля заполнения путей сортировочного парка и стрелочных участков при укладке их в рельсовой колее в форме “восьмерка” и “прямоугольник”.

5. Разработана математическая модель взаимодействия нормально разомкнутой рельсовой линии и коротких индуктивных шлейфов ИПД как системы связанных контуров.

6. Показано, что укладка шлейфа в форме “восьмерка” является перспективной при построении генераторных датчиков обнаружения вагонов, поскольку границы зоны обнаружения совпадают с его геометрическими размерами, а состояние рельсовой линии не оказывает существенного влияния на первичные параметры и частоту настройки шлейфа. Шлейф в форме “прямоугольник” не обеспечивает этих условий.

7. Установлено, что в большей мере на шлейфы оказывают влияние шунты колесных пар тележек вагона, образующие с рельсовыми нитями короткозамкнутый виток, приводящий к изменению собственной частоты настройки в среднем на 20%. Металлическая масса вагона оказывает дополнительное воздействие, приводящее к увеличению частоты расстройки в среднем на 1,5%.

8. Горочная рельсовая цепь оказывает незначительное влияние на характеристики обнаружения и вносит асимметрию на границах зоны обнаружения. Крутизна частотной характеристики пятывиткового шлейфа на границах: при въезде – 230Гц/м, при выезде – 400 Гц/м. При отключенной рельсовой цепи крутизна частоты преобразования симметрична на границах зоны обнаружения и составляет 300Гц/м на границе контролируемой зоны при въезде и 300Гц/м при выезде.

9. Разработаны нормативные требования к определению границ горочного стрелочного участка, обеспечивающие безопасность проезда централизованных стрелок и минимизацию интервала попутно скатывающихся отцепов,

позволяющие обоснованно формулировать требования подбора датчиков для решения задач обнаружения вагонов в стрелочных зонах.

10. Впервые получены характеристики достоверности индуктивно-проводного датчика по различным критериям и признакам обнаружения вагонов. Реализация частотного признака обнаружения в ИПД позволяет обеспечить характеристики достоверности обнаружения вагонов по вероятности пропуска  $P_{\text{пр}} \leq 1 \cdot 10^{-5}$  и вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лф}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$  при использовании четырех – и пятивитковых шлейфов на рабочих частотах 80 и 50 кГц.

11. Разработаны методика расчета характеристик достоверности комплексированных обнаружителей вагонов, рекомендации по выбору критериев обнаружения вагонов на стрелочных участках и алгоритмы принятия решения комплексированными обнаружителями. Показано, что комплексирование двух типов датчиков: ИПД с частотным признаком обнаружения и радиотехнического РТД-С позволяет обеспечить для вагонов любых типов вероятность пропуска  $P_{\text{пр}} \leq 1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-10}$ , а вероятность ложной тревоги не хуже чем  $P_{\text{лф}} \leq 1 \cdot 10^{-4}$ .

12. Сформулированы рекомендации эксплуатации шлейфов ИПД для защиты стрелок типов Р50, Р65 с марками крестовин 1/6, 1/9, 1/11 от несанкционированного перевода их под вагонами с привязкой координаты размещения шлейфа к острию остряка.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Перов И.Н., Акинин М.Ю. Индуктивный шлейф как чувствительный элемент индуктивно-проводного датчика // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 2. – С. 12 – 14
2. Акинин М.Ю. Комплексирование как метод повышения достоверности обнаружения транспортных средств // Безопасность движения поездов: Труды V Научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2004. – С. II-1
3. Шелухин В.И., Акинин М.Ю. Достоверность обнаружения подвижных единиц комплексированными датчиками // Безопасность движения поездов: Труды V Научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2004. – С. II-41
4. Шелухин В.И., Савицкий А.Г., Перов И.Н., Акинин М.Ю. Комплексирование как метод повышения безопасности проезда централизованных стрелок на сортировочных станциях // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – № 4. – С. 12 – 14

5. Акинин М.Ю. Повышение безопасности функционирования технических средств на стрелочных участках // Безопасность движения поездов: Труды VI Научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2005. – С. 1-2

6. Шелухин В.И., Савицкий А.Г., Акинин М.Ю. Дистанционная диагностика как средство повышения безопасности роспуска составов // Безопасность движения поездов: Труды VI Научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2005. – С. 1-55

АКИНИН МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ГОРОЧНЫХ  
СТРЕЛОК ОТ НЕСАНЦИОНИРОВАННОГО ПЕРЕВОДА

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

---

Подписано в печать 09.01. 2007г.

Формат бумаги 60x90 1/16. Объем 1,0 п. л. Заказ № 02. Тираж 80 экз.

Типография МИИТа, г. Москва, ул. Образцова, д. 15