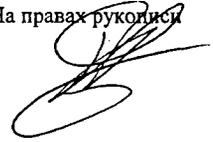


На правах рукописи



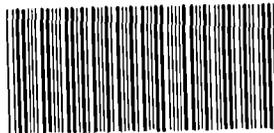
**Попов Павел Александрович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ  
УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ИНТЕРВАЛЬНОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОКАНАЛА**

Специальность: 05.22.08 – Управление процессами перевозок

**АВТОРЕФЕРАТ**

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



**005553618**

23 ОКТ 2014

**Санкт-Петербург – 2014**

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Никитин Александр Борисович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Железнодорожная автоматика телемеханика и связь» ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения»

**Беляков Игорь Васильевич**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Восстановления автоматике, телемеханики и связи на железных дорогах» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) ФГКВОО ВПО «Военная академия Материально-технического обеспечения им. Генерала армии А.В. Хрулева»  
**Яшин Михаил Геннадьевич**

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»**

Защита диссертации состоится 11 декабря 2014 г. в 15 час. 00 мин. На заседании диссертационного совета Д 218.008.02 на базе ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» по адресу: 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9, ауд. 7-320.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» ([www.pgups.ru](http://www.pgups.ru)), на сайте Минобрнауки России ([www.vak.ed.gov.ru](http://www.vak.ed.gov.ru)).

Автореферат разослан «13» октября 2014 года.

Отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, заверенный печатью, просим направлять в адрес ученого совета университета.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н.



Ефанов Дмитрий Викторович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность** темы исследования. Увеличение пропускной способности железных дорог, повышение надежности работы, внедрение инновационных технологий являются важнейшими задачами для большинства стран мира. Часто наиболее выгодным способом решения этих задач является совершенствование системы сигнализации, так как она оказывает весомую роль на пропускную способность, а её модернизация значительно проще и дешевле, чем улучшение инфраструктуры в виде строительства дополнительных путей и платформ.

Существующая система автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации не удовлетворяет растущим требованиям. В частности, на сети дорог ОАО «РЖД» происходит до 360 тысяч сбоев кодирования системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) ежегодно, что отрицательно сказывается на пропускной способности и, собственно, предопределяет снижение пропускной способности. Длительное время передачи информации по каналу АЛС, малый объем передаваемых данных не позволяют применять данную систему для высокоскоростных поездов.

С учетом указанных проблем актуальным является разработка системы интервального регулирования движения поездов (ИРДП) на основе радиоканала, которая позволит решить проблемы рельсопроводного канала АЛС и повысить пропускную способность.

**Целью** диссертационной работы является разработка и совершенствование алгоритмов работы системы интервального регулирования движения поездов на основе использования радиоканала.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в следующем:

- обоснована структура системы ИРДП с применением радиоканала;
- разработаны критерии сравнительной оценки систем ИРДП;

-разработан метод определения местоположения поездов с высокой достоверностью и надежностью на основе статистической обработки результатов измерений, фильтрации Калмана, цифровой обработки сигналов рельсовых цепей;

-разработана модель определения фактической пропускной способности с учетом неравномерности движения поездов и применением винеровского процесса для моделирования;

- введены сравнительные критерии оценки эффективности систем ИРДП по пропускной способности.

**Теоретическая и практическая значимость.** Разработанные принципы, алгоритмы позволяют создать систему ИРДП с использованием радиоканала, обладающую повышенной пропускной способностью и надежностью. Применение ИРДП с радиоканалом также позволяет отказаться от использования проходных светофоров на перегоне, что дает экономию в процессе эксплуатации.

**Реализация результатов работ.** Разработанные принципы, алгоритмы систем ИРДП на основе радиоканала, изложенные в диссертации, применены при выполнении работы «Проектирование, оборудование опытного полигона и проведение эксплуатационных и приемочных испытаний Комплексной российско-итальянской системы управления и обеспечения безопасности движения поездов ITARUS-ATC на участке Магистр–Хоста Северо-Кавказской ж.д.». Результаты исследований использовались при выполнении научно-технической работы «Разработка технологии оперативной передачи предупреждений и электронных карт (действующих скоростей, графика движения) в систему автоведения высокоскоростного поезда «Сапсан», а также при выполнении работ по комплексному научно-техническому проекту «Создание современных систем управления движением поездов и обеспечения безопасности движения (КНП-5)» по теме «Применение аппаратуры САУТ НСП и

средств цифрового радиоканала для передачи ответственной информации о поездной ситуации на перегоне и станции в бортовые приборы безопасности».

**Методы исследования:** для получения результатов диссертационного исследования использовались математический анализ, теория стохастических процессов, преобразования Фурье, байесовы решающие правила, фильтрация Калмана, моделирование на основе процесса Винера, экспериментальные исследования.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность научных результатов подтверждается корректностью исходных математических положений, обоснованностью принятых допущений, апробированием научных выводов на конференциях, а также результатами внедрения и практического использования основных положений диссертации.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на VI международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (г. Санкт-Петербург ПГУПС 2014г.); на конференции «Информационно-технологический и телекоммуникационный кластер наукограда Черноголовка: продукция, партнёрство и перспективы развития» (Московская обл., Черноголовка 2014г.); на научно-техническом совете по вопросу разработки перспективных систем управления движением поездов на основе железнодорожной автоматики и связи (г. Москва, ОАО «НИИАС», 2014г.); на заседаниях кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (2013 г. и 2014г.).

**Публикации.** Материалы, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 9 работах, которые включают 6 публикаций и 3 патента, в том числе опубликованы 4 статьи в журналах,

входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. В работе содержится 173 страницы основного текста, 62 рисунка, 23 таблицы. Список литературы состоит из 130 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показана актуальность темы диссертации, определены предмет, цель и задачи исследования.

**В первой главе** рассмотрен опыт построения и применения систем ИРДП на основе радиоканала, проанализированы их сильные и слабые стороны. Из зарубежных систем можно выделить Европейскую систему ETCS (European Train Control System), американскую ITCS (Incremental Train Control System) и японскую ATACS (Advanced Train Administration and Communication System).

Наибольшее применение на практике нашла система ETCS уровня 2, которая использует цифровой радиоканал GSM-R для передачи управляющих сообщений на локомотив. Местоположения локомотива определяется на основе прохода точечных приемо-передатчиков евробализ и одометров. Контроль целостности поезда осуществляется посредством рельсовых цепей или счетчиков осей. На перегонах движение осуществляется на основе сообщений с разрешением на движение, светофоры не устанавливаются.

В системе ITCS рельсовые цепи заменены виртуальными блок-участками, путевые светофоры заменены «виртуальными сигналами». Длины виртуальных блок-участков и расстановка виртуальных проходных светофоров на перегоне рассчитываются исходя из обеспечения минимального интервала попутного следования поездов по сигналам. Определение местоположения поезда основано на использовании

спутниковой навигационной системы. Контроль целостности поезда осуществляется бортовым оборудованием с помощью установки устройства «активного хвоста» на последний вагон. Сложностью при эксплуатации данной системы является первоначальная инициализация виртуальных блок-участков.

Рассматриваются отечественные системы ИРДП, большой вклад в развитие которых внесли такие ученые, как И.В. Беляков, П.Ф. Бестемьянов, А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, В.М. Лисенков, Б.Д. Никифоров, А.С. Переборов, Е.Н. Розенберг, В.В Сапожников, Вл.В. Сапожников, Яшин М.Г. и другие.

В первой главе ставятся актуальные для практики задачи исходя из цели диссертационной работы:

1. Определение структуры системы ИРДП с использованием радиоканала, обеспечивающей наилучшие показатели работы с учетом имеющейся инфраструктуры на сети ОАО «РЖД».

2. Разработка алгоритмов работы системы ИРДП с использованием радиоканала, позволяющим уменьшить интервал попутного следования и увеличить пропускную способность.

3. Разработка принципов определения местоположения локомотива, основанных на комплексном использовании спутниковой навигации, путевых датчиков скорости и сигналов рельсовых цепей.

4. Разработка критериев оценки эффективности систем ИРДП на основе пропускной способности.

Во второй главе рассматриваются основные теоретические принципы координатного регулирования движения поездов. Анализируется минимально допустимое расстояние попутного следования между поездами при регулировании на хвост впереди идущего поезда и при регулировании с учетом тормозного пути впереди идущего поезда, при регулировании до занятой рельсовой цепи по ходу движения поезда. Рассчитывается

тормозной путь поезда в зависимости от его скорости и категории, анализируются кривые торможения, заложенные в локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У.

Рассматриваются структуры построения системы интервального регулирования движения поездов на основе радиоканала. Показано, что наилучшей структурой с точки зрения организации связи и построения алгоритмов управления является структура с централизованным центром радиоблокировки, показанная на рисунке 1.

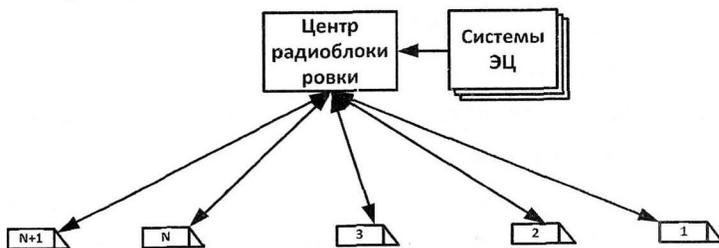


Рисунок 1. Централизованная структура с системами ЭЦ

Сравнение систем ИРДП производится на основе анализа зависимости пропускной способности от системы ИРДП. В диссертации приводится расчет интервала попутного следования для трехзначной системы автоблокировки, четырехзначной системы автоблокировки, системы ИРДП с регулированием на занятую рельсовую цепь, системы ИРДП с регулированием на хвост впереди идущего поезда. Максимальный интервал попутного следования у трехзначной автоблокировки, а минимальный интервал попутного следования у системы ИРДП с подвижными блок участками и регулированием на хвост впереди идущего поезда. В то же время интервал попутного следования имеет разные зависимости от скорости, которые показаны на рисунке 2. Из графика следует, что колебания интервала попутного следования для систем ИРДП с регулированием на занятую рельсовую цепь и с регулированием на хвост впереди идущего поезда не значительны в большом диапазоне скоростей.

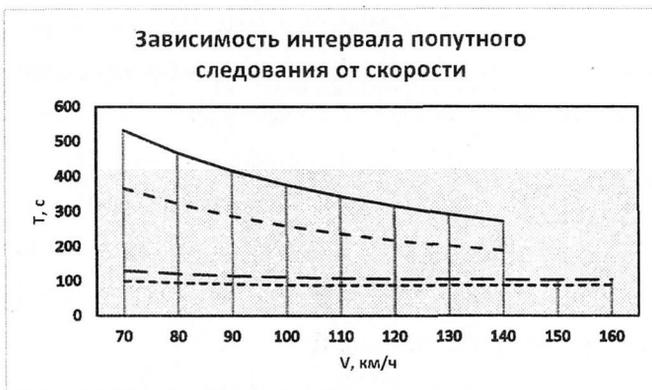


Рисунок 2. Зависимость интервала попутного следования от скорости

Для трех и четырехзначной автоблокировки интервал попутного следования уменьшается с увеличением скорости, но имеет предел, равный расчетному. Для обеспечения требуемого уровня качества работы системы ИРДП вводят дополнительное время к минимальному интервалу попутного следования, которое необходимо для учета неравномерности следования поездов из-за разных тяговых и тормозных характеристик, разного профиля пути, разной манеры ведения поездов машинистами и других факторов.

При следовании поездов с минимальным интервалом попутного следования впереди идущий поезд с большой вероятностью оказывает воздействие на сзади идущий поезд. Моделирование влияния поездов друг на друга производится с помощью Винеровского процесса, задаваемого в виде стохастического дифференциального равенства:

$$dX_i(t) = V_{M_i}(t)dt + \sigma_i(t)dW_i(t), \quad i \in I, \quad (1)$$

где  $W_i(t)$  есть стандартная Броуновская функция (Винеровский процесс) и  $I = \{1, \dots, N_T\}$ .

Анализируется дистанция между двумя поездами  $X_i - X_{i+1}$ , распределённая по нормальному закону:  $X_i - X_{i+1} \sim N(VT_{отпр}, \sigma^2(2t - (2i+1)T_{отпр}))$ . (2)

В работе рассчитывается вероятность того, что расстояние  $X_i - X_{i+1}$  между двумя поездами будет меньше минимального интервала попутного следования, определяемого применяемой системой ИРДП, по формуле

$$P(X_i - X_{i+1} < D_{кр}; t) = \Phi\left(\frac{D_{кр} - VT_{отпр}}{\sigma\sqrt{2t - (2t+1)T_{отпр}}}\right), \quad (3) \quad \text{для двух соседних}$$

поездов, где  $D_{кр}$  – минимальное расстояние попутного следования, определяемое применяемой системой ИРДП,  $\Phi(x)$  – стандартная интегральная функция распределения. Для поездов, проходящих за сутки,

$$\text{есть } N_T = \frac{T_{день}}{T_{отпр}} : \quad P(\text{коллизии}) \leq \frac{T_{граф} N_T}{T_{отпр}} \Phi\left(\frac{D_{кр} - V \frac{T_{день}}{N_T}}{\sigma\sqrt{2T_{граф}}}\right). \quad (4)$$

Коллизия означает уменьшение для одной из пар поездов интервала попутного следования меньше критического, задаваемого системой ИРДП.

Наименьшая вероятность коллизии будет при увеличении интервала следования поездов, уменьшении минимального интервала попутного следования и уменьшении дисперсии скорости.

**В третьей главе** разработан способ интервального регулирования поездов на основе радиоканала, учитывающий особенности инфраструктуры ОАО «РЖД» и позволяющий повысить пропускную способность, увеличить надежность работы ИРДП.

Особое место отведено системе определения местоположения, так как от точности и достоверности ее работы зависят правильность адресной выдачи команд и время начала применения торможения для остановки у запрещающего показания или в точке конца разрешения на движение. В качестве системы позиционирования предложена комплексная система, состоящая из спутниковой навигации, путевых датчиков скорости, бортовой электронной карты и сигналов рельсовых цепей, получаемых локомотивными катушками АЛС.

Первоначальное местоположение локомотива определяется на основе спутникового приемника. По данным о среднеквадратических отклонениях по оси  $x$  и по оси  $y$  строится эллиптический регион ошибок, показанный на рисунке 3. Размер и ориентация эллипса задаются формулами (5-7). Эллиптическое распределение ошибок задается равенством (8). Коэффициент  $k$  в формулах (5-6) определяет размер эллипса и, соответственно, вероятность нахождения координаты внутри эллипса. При  $k=3$ , что соответствует  $3\sigma$ , вероятность будет равна 98,8%.

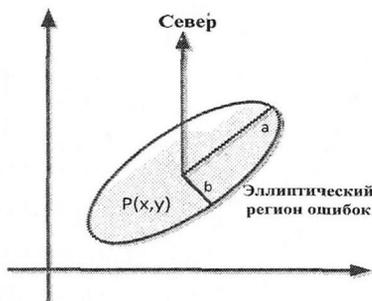


Рисунок 3. Эллиптический регион ошибок

$$a = k \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}} \quad (5)$$

$$b = k \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2}} \quad (6)$$

$$\phi = \frac{1}{2}\pi - \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}\right) \quad (7)$$

$$P_E(k) = \iint_{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \leq k^2} \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)}}{2\pi\sigma_x\sigma_y} dx dy \quad (8)$$

После нахождения эллипса ошибок определяются все железнодорожные пути, пересекающие данный эллипс. До каждого пути от вычисленной координаты с помощью формул аналитической геометрии рассчитывается среднее арифметическое расстояние на основе серии

измерений. Для определения номера пути вводится критерий, рассчитываемый по формуле (9):

$$K(x) = e^{\frac{L^2 - 2xL}{2\sigma^2} - N} \quad (9)$$

где  $L$  – расстояние до соседнего пути по цифровой электронной карте;

$x$  – среднее арифметическое расстояние ( $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$ );

$N$  – количество, произведенных измерений;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение,  $\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$ .

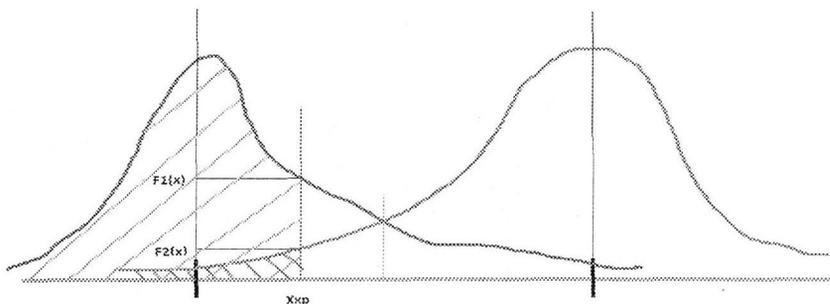


Рисунок 4. График плотности распределения для двух соседних путей при условии нахождения поезда на пути слева

Критерий 9 основан на отношении плотности вероятности Гауссовского распределения при условии нахождения локомотива на первом пути к плотности вероятности Гауссовского распределения при условии нахождения локомотива на втором пути. Схематично принцип работы критерия показан на рисунке 4.

Для повышения достоверности определения номера пути предложено применять принципиально новым способ определения местоположения на основе анализа сигналов тональных рельсовых цепей. Бортовое оборудование локомотива через локомотивные катушки индуктивности позволяет принимать сигналы тональных рельсовых цепей, работающих на несущих частотах: 420 Гц, 480 Гц, 580 Гц, 720 Гц, 780 Гц. При проектировании тональных рельсовых цепей всегда применяют разные

частоты на соседних путях и на смежных рельсовых цепях одного пути. Поэтому определение частоты тональной рельсовой цепи позволяет определить номер пути, занимаемый локомотивом. На станции с изолированными рельсовыми цепями генератор может быть шунтирован самим поездом. В таком случае определение частоты тональной рельсовой цепи происходит при проходе изолирующего стыка.

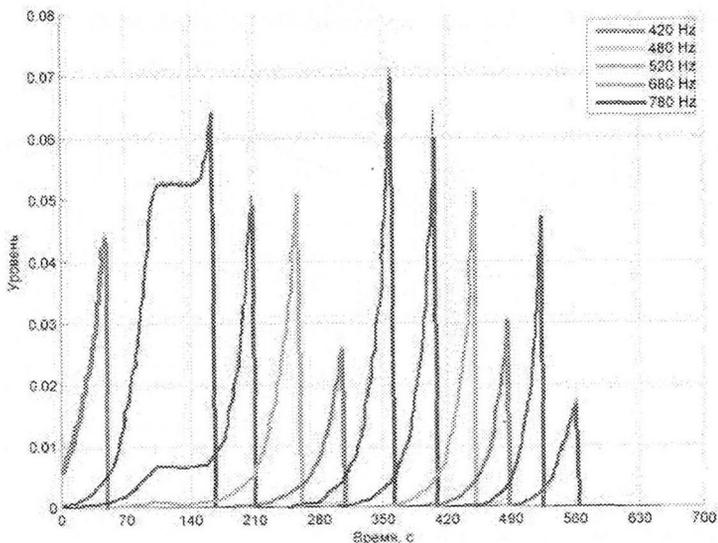


Рисунок 5. График сигналов ТРЦ на бортовой локомотивной катушке

На рисунке 5 отображена запись сигнала с бортовой катушки автоматической локомотивной сигнализации при следовании поезда по перегону с тональными рельсовыми цепями. Из графика хорошо видны периодические резкие спады сигнала различной частоты. Это происходит в момент прохода первой осью локомотива соответствующего генератора и шунтирования сигнала.

При приближении локомотива к генератору значение сигнала соответствующей частоты увеличивается на приемной катушке АЛС из-за уменьшения длины контура тока и, соответственно уменьшения

сопротивления. Резкий спад уровня сигнала при проходе генератора позволяет определить момент прохода генератора. При известной информации о местоположении генераторов рельсовых цепей становится возможным уточнить линейную координату локомотива. Разработанный метод позволяет определять момент прохода генератора с точностью до 1 метра на скоростях до 250 км/ч. Фактически, генераторы рельсовых цепей эквивалентны евробализам, применяемым в системе ETCS, однако их использование не требует больших капитальных вложений на установку.

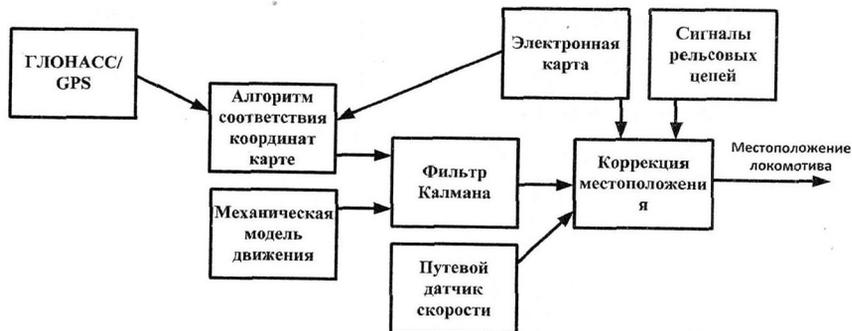


Рисунок 6. Схема системы определения местоположения поезда

Полная структурная схема, отражающая работу системы определения местоположения, приведена на рисунке 6.

Для получения оптимальной оценки местоположения используется алгоритм фильтрации Калмана. В качестве элементов вектора состояния для простоты и скорости расчетов используется линейная координата и скорость поезда:

$$X = \begin{bmatrix} l \\ v \end{bmatrix}, \text{ где } l - \text{линейная координата, } v - \text{ скорость поезда.}$$

Уравнение состояния имеет вид:  $X_{k+1} = FX_k + Wa_k$ , (10) где  $F$  – матрица перехода,  $F = \begin{bmatrix} 1 & \tau \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $W = \begin{bmatrix} \tau^2/2 \\ \tau \end{bmatrix}$ ,  $\tau$  – период дискретизации,  $a_k$  – ускорение поезда, распределенное по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением  $\sigma_a$ .

Ковариационная матрица случайных воздействий  $Q = \sigma_a^2 \begin{bmatrix} 0,25\tau^4 & 0,5\tau^3 \\ 0,5\tau^3 & \tau^2 \end{bmatrix}$

Уравнение измерения имеет вид  $Z_k = HX_k + v_k$  (11), где  $H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

Ковариационная матрица шума измерений имеет вид  $R = \begin{bmatrix} \sigma_l^2 & \sigma_l\sigma_v \\ \sigma_l\sigma_v & \sigma_v^2 \end{bmatrix}$ ,

где  $\sigma_l$  – среднеквадратическое отклонение измерения линейной координаты;  $\sigma_v$  – среднеквадратическое отклонение измерения скорости.

Предсказание в соответствии с уравнением состояния:  $\hat{x}_{k+1}^- = F\hat{x}_k$ ,

Уравнение фильтра Калмана имеет вид:  $\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H_k\hat{x}_k^-)$  (12),

где  $\hat{x}_k$  – новая оценка вектора состояния.

Априорная ошибка оценивания  $e_k^- = x_k - \hat{x}_k^-$ ;

Априорная ковариационная матрица ошибки оценивания

$$P_{k+1}^- = FP_kF_k^T + Q_k \quad (13),$$

Коэффициент усиления фильтра Калмана

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (14),$$

Ковариационная матрица  $P_k = (E - K_k H_k) P_k^-$  (15).

Рекурсивный алгоритм фильтра Калмана позволяет производить оптимальную оценку на основе информации о среднеквадратическом отклонении измерений спутниковой навигации и погрешности модели, которая принята константой. Коэффициент усиления фильтра Калмана  $K$ , определяет степень доверия измерениям и модели, корректируя его в зависимости от значения среднеквадратического отклонения измерений. К примеру, при проходе локомотива под мостом или в тоннеле условия приема ухудшаются, среднеквадратическое отклонение измерений увеличивается и новое результирующее значение фильтра Калмана рассчитывается, опираясь большей частью на модель движения, представленную уравнением состояния (10). Вероятность ошибки определения номера пути и рельсовой цепи, занимаемой локомотивом, составляет  $10^{-9}$ .

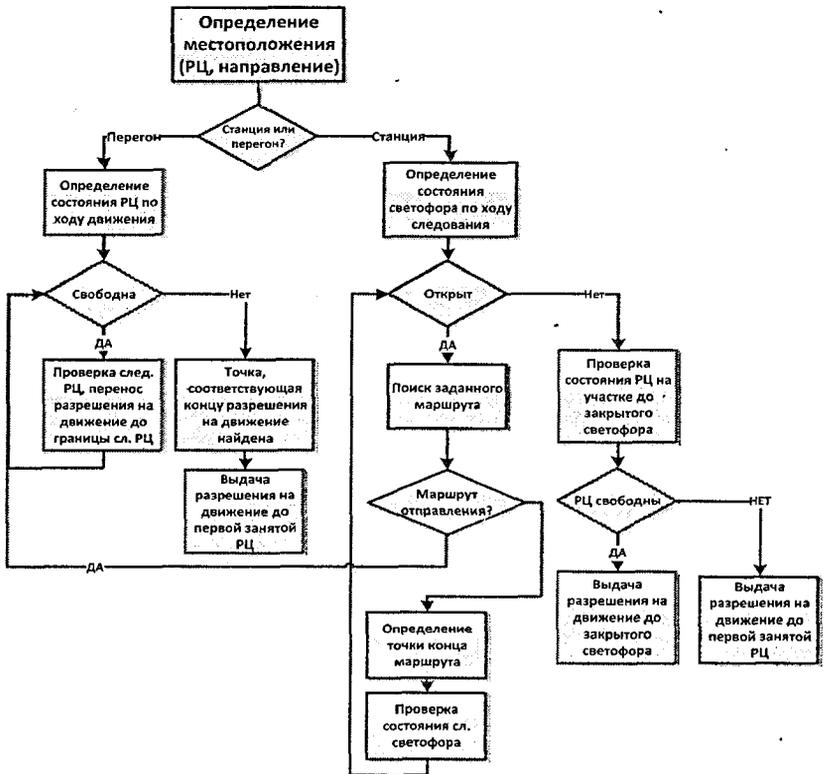


Рисунок 7. Блок-схема алгоритма формирования разрешения на движение

Алгоритм интервального регулирования движения поездов строится на базе информации о местоположении поезда, планов станций и перегонов, а также данных от систем электрической централизации и состоянии рельсовых цепей на перегоне. При движении поезда на перегоне проверяется состояние рельсовых цепей по ходу следования до нахождения первой занятой, до которой и формируется разрешение на движение. При движении на станции или прибытии на станцию проверяется состояние светофора по ходу движения. Если светофор имеет разрешающее показание, то находится заданный маршрут и определяется точка окончания маршрута,

соответствующая следующему светофору на станции. В точке окончания маршрута проверяется состояние следующего светофора и далее по циклу. Если светофор закрыт, то проверяется состояние рельсовых цепей в маршруте и при их свободности выдается разрешение на движение до закрытого светофора. Блок-схема алгоритма формирования разрешения на движение приведена на рисунке 7.

**В четвертой главе** исследуются сети связи, которые могут применяться для систем ИРДР с использованием радиоканала. Проанализированы такие технологии связи, как GSM, GSM-R, TETRA, DMR. Проведено исследование протоколов обмена по радиоканалу между бортовым и стационарным оборудованием. Рассмотрены возможные угрозы безопасности при передаче данных и определены способы защиты. Выявлено, что протокол для системы ИРДП должен обеспечивать доставку сообщений по заданному адресу в правильной последовательности и контролем времени задержки при доставке. При разработке отечественных систем ИРДП в качестве средств защиты предложены протоколы на основе отечественного криптоалгоритма «ГОСТ 28147-89 Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования».

Обмен информации между бортовым и стационарным оборудованием построен на основе сообщений, пакетов и переменных. Самой крупной единицей информации является сообщение, которое состоит из переменных и пакетов. Каждое сообщение и каждый пакет имеет свой уникальный номер. Все переменные в сообщениях и пакетах определяются с дискретностью до одного бита для уменьшения количества передаваемых данных и снижению требований по пропускной способности к каналу передачи.

Приведены результаты испытаний системы ИРДП с использованием радиоканала на основе проекта ITARUS-ATC.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований в диссертации решены поставленные задачи и получены следующие новые научные и практические результаты:

1. Разработана структура ИРДП на основе радиоканала, обеспечивающая наилучшие показатели работы с учетом имеющейся инфраструктуры на сети железных дорог ОАО «РЖД». Существующие рельсовые цепи используются для контроля целостности рельсовых нитей и для регулирования на последнюю занятую рельсовую цепь. Центр радиоблокировки подключается к системам электрической централизации и к системе радиосвязи.

2. Разработан метод определения местоположения локомотива, основанный на комплексном использовании спутниковой навигации, путевых датчиков скорости, сигналов рельсовых цепей и гарантирующий достоверность результатов  $10^{-9}$  и высокую надежность работы.

3. Разработан метод уточнения местоположения на основе анализа частоты тональных рельсовых цепей, а также метод определения момента прохода генератора рельсовых цепей. Основным принципом работы метода является цифровая обработка сигналов на локомотивной катушке АЛС и определение момента прохода генератора по уменьшению уровня сигнала до нуля в момент шунтирования его первой осью локомотива. Метод позволяет определять момент прохода генератора с точностью до 1 метра и предполагает применение существующих генераторов как альтернативу точечным датчикам – евробализам.

4. Разработаны алгоритмы интервального регулирования движения поездов на основе радиоканала, позволяющие уменьшить интервал попутного следования в широком диапазоне скоростей и увеличить пропускную способность на 15-20%.

5. Введены критерии оценки систем ИРДП на основе пропускной способности и минимального интервала попутного следования.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. Попов П.А., Королев И.Н. Системы управления движением по радиоканалу // Автоматика, связь, информатика (АСИ). - 2011. - №7.-с.26-27.
2. Попов П.А., Адагуров А.С. Общие принципы работы системы ITARUS-ATC // Автоматика, связь, информатика (АСИ). – 2010. - №7 – С. 9-10
3. Попов П.А., Федоров А.Ю., Адагуров А.С. Система спутниковой навигации на пожарных поездах // Автоматика, связь, информатика (АСИ). – 2011. - №7. –с. 26-27.
4. Попов П.А., Адагуров А.С. Подсистема евробализов. Техническое описание // Автоматика, связь, информатика (АСИ). – 2010. - №9. – С. 14-15.

### Другие публикации:

1. Попов П.А. Стохастическое моделирование движения поездов в задачах интервального регулирования//Наука и транспорт.-2013.-№2.-с.18-19.
2. Попов П.А., Уманский В.И., Бондарец В.А. Программно-аппаратные решения обеспечения высоконадежного позиционирования маневровых локомотивов с использованием цифровой модели путевого развития//Материалы конференции «Информационно-технологический и телекоммуникационный кластер наукограда Черноголовка: продукция, партнёрство и перспективы развития» - 2014. - с. 81-82.
3. Баклажков Р.В., Батраев В.В., Вихрова Н.Ю., Миронов В.С., Мурин С.А., Попов П.А., Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н., Шухина Е.Е. Система интервального регулирования движения поездов// Патент на изобретение №2519323. Бюл. №16, 10.06.2014.
4. Никитин А.Б., Прокофьев А.А., Наседкин О.А., Попов П.А., Королев И.Н. Система управления движением поездов// Патент на полезную модель №117386. Бюл. №18, 27.06.2012.
5. Гринфельд И.Н., Киселева С.В., Кисельгоф Г.К., Красовицкий Д.М., Попов П.А., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е. Способ интервального регулирования движения поездов и система для его реализации// Патент на изобретение №2509672. Бюл. №8, 20.03.2014

Подписано к печати

08.10.2014 г.

Печ.л. 1,0

Печать – ризография.

Бумага для множит. апп.

Формат 60x84 1/16

Тираж 100 экз.

Зак. № 847.

---

ПГУПС 190031, г. С-Петербург, Московский пр., 9