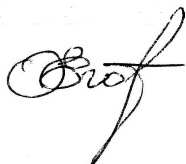


Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна

На правах рукописи

ЕГОРОВ ОЛЕГ ИОСИФОВИЧ



УДК 656.212.5:629.4.066

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ АТТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ
ЕДИНИЦ НА СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель

Шафит Евгений
Миронович
Жуковицкий Игорь Владимирович
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор

Днепропетровск – 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1	
АНАЛИЗ (ОБЗОР) СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ	
ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	14
1.1. Параметры идентификации подвижных единиц.....	14
1.2. Определение номеров вагонов.....	15
1.3. Определение статических характеристик подвижных единиц..	26
1.4. Идентификация ходовых свойств подвижных единиц на сортировочных горках.....	32
Выводы.....	37
РАЗДЕЛ 2	
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И ОСНОСТИ	
ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ.....	40
2.1. Анализ типов вагонов и локомотивов железнодорожного подвижного состава колеи 1520 мм.....	40
2.2. Идентификации подвижных единиц с использованием одной контрольной точки	44
2.2.1. Математическое описание метода идентификации подвижных единиц	44
2.2.2. Расчет параметров метода идентификации подвижных единиц	52
2.2.3. Имитационное моделирование метода идентификации подвижных единиц	56
2.3. Идентификации подвижных единиц с использованием двух контрольных точек	61
2.3.1. Описание метода идентификации подвижных единиц	61
2.3.2. Имитационное моделирование метода идентификации с использованием двух контрольных точек	68
Выводы.....	74
РАЗДЕЛ 3	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖОСЕВЫХ	
РАССТОЯНИЙ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ.....	77
3.1. Цели и задачи необходимости определения погрешности идентификации подвижных единиц.....	77
3.2. Имитационное моделирование процесса определения ошибки идентификации подвижных единиц.....	79

3.3. Использование метода планирования эксперимента для оценки точности идентификации подвижных единиц.....	92
Выводы.....	101

РАЗДЕЛ 4

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ И ПОЕЗДА ВЦЕЛОМ.....

4.1. Анализ возможных и допустимых ошибок определения межосевых расстояний подвижных единиц.....	103
4.2. Определение типа подвижных единиц по межосевому расстоянию.....	106
4.3. Выбор точечных путевых датчиков для участка идентификации подвижных единиц.....	110
4.4. Вероятностный подход идентификации поезда с использованием ТГНЛ.....	113
4.5. Имитационная модель идентификации поезда с использованием ТГНЛ.....	122
Выводы.....	128

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	130
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	149
Таблицы межосевых расстояний подвижных единиц колеи 1520	
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	153
Таблицы значения коэффициентов μ и листинг имитационной модели проверки значений μ для однотоочечного метода идентификации подвижного состава	

ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	165
Листинг программы, реализующей имитационную модель двухточечного метода идентификации подвижных единиц	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	170
Графики погрешности определения межосевого расстояния	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	175
Структура таблиц базы данных, используемых при идентификации поезда и видеогаммы форм имитационной модели идентификации поезда	

ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	180
Листинг программы, реализующей имитационную модель идентификации поезда с использованием ТГН	
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	185
Акт про внедрение результатов диссертационной работы	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Проблема идентификации подвижного состава на железных дорогах, как поездов в целом, так и вагонов в отдельности, наиболее актуальна сегодня в нашей стране и за рубежом. Повышение точности определения различных параметров, характеризующих подвижной состав, приведет к непосредственному улучшению качества управления вагонопотоками. А это в свою очередь отразится на уменьшении себестоимости грузоперевозок, увеличении рациональности использования вагонов, освобождении людских ресурсов, повышении безопасности движения на железных дорогах и т.д. Хотя на сегодняшний день существует множество различных предложений решения той либо иной задачи идентификации – нельзя сказать, что этот вопрос является закрытым. Многие организации, как за рубежом, так и в нашей стране постоянно ведут работу над созданием новых и модернизацией существующих методов идентификации.

На сортировочных станциях, которые представляют собой сложные технико-информационные структуры, отслеживание подвижных единиц ведется постоянно, в любой момент времени необходимо точно знать об их местонахождении.

При прибытии и отправлении поезда на сортировочной станции происходит списывание номеров каждой подвижной единицы; постоянно ведется отслеживание движения составов и отдельных отцепов по путям парков сортировочной станции при помощи напольного оборудования; при скатывании отцепов с горки происходит определение их динамических характеристик и контроль правильности роспуска составов. Различные информационно-управляющие системы на сортировочных станциях, выполняя технологические операции на сортировочных станциях, также остро нуждаются в информации об объектах управления.

При этом повышение достоверности информации, автоматический сбор и обработка сигналов повышают пропускную способность станции за счет выигрыша во времени при выполнении определенных технологических операций, что поддаются автоматизации.

В последнее время наметилась тенденция использования систем спутниковой навигации для слежения за перемещением подвижных единиц по железнодорожным дорогам в нашей стране и за рубежом. На этапах испытания, внедрения, сопровождения подобных систем необходимо также использование дополнительных средств идентификации подвижного состава. Подобная интеграция приведет к повышению общих показателей качества управления вагонопотоков.

Поэтому любая автоматизация технологических процессов на железнодорожном транспорте тесно связана с идентификацией подвижных единиц.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с основными направлениями развития железнодорожного транспорта: «Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (одобрено распоряжением Кабинета Министров Украины от 16 декабря 2009 г. № 1555-у). Выбранное направление исследований связано с выполнением следующих работ в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна на кафедре «ЭВМ»:

—научно-исследовательская работа «Дослідження та розробка методів покращення технологічних показників автоматизованих сортувальних гірок» (№ госрегистрации 0109U003743), научно-исследовательская работа «Дослідження та розробка методів і засобів підвищення достовірності автоматичного ведення інформації про результати розпуску составів на гірці», научно-исследовательская работа «Дослідження та розробка методів використання технічних засобів для підвищення достовірності інформації в повагонній моделі в НАСК».

В данных работах автор диссертационной работы участвовал как исполнитель.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение надежности, эффективности и качества информационно-управляющих систем на сортировочной станции на основе усовершенствования методов идентификации подвижных единиц.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- анализ существующих методов определения номеров подвижных единиц, статических и динамических характеристик движения подвижных единиц;
- исследование и анализ парка железнодорожных вагонов и локомотивов по типам и их межосевым расстояниям;
- разработка, усовершенствование методов определения количества, осности и типа подвижных единиц;
- исследование, анализ и выдача рекомендаций повышения точности существующих и предложенных методов определения типа подвижных единиц, по средству определения межосевых расстояний;
- разработка, усовершенствование методов идентификации поездов.

Объект исследования. Процессы технологической обработки подвижных единиц на сортировочных станциях и прилегающих к ним железнодорожных путях.

Предмет исследования. Модели и методы идентификации подвижных единиц железнодорожного транспорта на сортировочных станциях и прилегающих к ним железнодорожных путях.

Методы исследования. Для решения научных задач были использованы:

– для вывода корректирующих коэффициентов одноточечного метода определения количества и осности – имитационное моделирование, математическое моделирование, теория вероятности и математическая статистика;

– для апробации алгоритмов двухточечного метода определения количества и осности подвижных единиц – имитационное моделирование;

– для оценки погрешности определения межосевых расстояний, разработки метода идентификации поезда – имитационное моделирование, математическое моделирование, теория вероятности, математическая статистика, метод планирования эксперимента.

Научная новизна полученных результатов. В диссертационной работе разработаны и усовершенствованы методы идентификации подвижного состава на сортировочных станциях и прилегающих к ним железнодорожных путях. Проведены исследования и сделаны заключения о влиянии различных факторов на процесс идентификации подвижного состава

Впервые:

– предварительно проведя исследования факторов влияющих на погрешность определения межосевых расстояний подвижных единиц, была выведена функциональная зависимость погрешности определения межосевых расстояний от ошибки фиксации колеса датчиком, расстояния между датчиками и измеряемого расстояния. Данная функциональная зависимость позволяет решить следующие задачи:

– вычисление предельно возможных ошибок определения межосевых расстояний подвижных единиц при известных параметрах контрольного участка;

– вычисление параметров контрольного участка, при известных возможно допустимых ошибках определения межосевых расстояний подвижных единиц;

– разработана математическая модель процесса идентификации поезда на трехточечном контрольном участке с использованием ТГНЛ на основе вероятностного подхода. Метод идентификации, основанный на этой модели, позволяет автоматизировать ввод информации о поездах, прибывающих на сортировочную станцию, что дает возможность оперативного получения информации;

Усовершенствованы:

–математическая модель процесса и процедура определения количества и оснотности подвижных единиц на однотоочечном контрольном участке, которая расширяет возможности использования метода идентификации, учитывая погрешности датчика и движение подвижных единиц с ускорением;

–процедура определения количества и оснотности подвижных единиц на двухточечном контрольном участке за счет увеличения типов подвижных единиц, подлежащих идентификации.

Произведены сбор, анализ и систематизация информации о различных видах и способах идентификации подвижных единиц.

Практическое значение полученных исследований определяется следующим:

–контролировать правильность расцепления отцепов на сортировочных горках в системах автоматизации сортировочного процесса;

–автоматизировать ввод информации о поездах, поступающих на сортировочную станцию;

–вычислять предельную погрешность определения межосевых расстояний на заданном контрольном участке, а также, исходя из допустимых значений погрешности, сформировать требуемые параметры контрольного участка.

Результаты диссертационных исследований испытаны в научно-исследовательских работах.

Личный вклад соискателя. Все результаты теоретических и экспериментальных исследований, приведенные в работе, получены автором лично или непосредственно с его участием.

Личный вклад соискателя заключается в самостоятельном исследовании, разработке, усовершенствовании, апробации, формулировке научных положений и выводов методов идентификации подвижных единиц.

Работы [48–52] написаны без соавторов, самостоятельно.

В статьях, опубликованных в специализированных изданиях с соавторами [53, 54], соискателю принадлежит следующее:

–в [53]: разработка АРМа оператора и метода контроля правильности расцепления отцепов на сортировочной горке;

–в [54]: разработка математической и имитационной модели идентификации поезда.

Личный вклад соискателя заключается в самостоятельном исследовании, разработке, усовершенствовании, апробации, формулировке научных положений и выводов методов идентификации подвижных единиц.

Апробация результатов научного исследования. Основные положения и результаты диссертации докладывались, обсуждались и были одобрены на:

- международной школе–семинаре «Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте» (г.Алушта, 1999г);

- международных научно–практических конференциях «Автоматизация производственных процессов» (г.Хмельницкий, 2002г., 2003г., 2007г.);

- III и IV международных научных конференциях «Проблемы экономики транспорта» (г.Днепропетровск, 2003г., 2005г.);

- научно–практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем: техника, технология, экономика и управление» (г.Киев, 2003г.);

- международных научно-практических конференциях «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании» (г.Днепропетровск, 2007г., 2008г., 2011г., 2012г.);

- IV международной научно-практической конференции «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте» (г.Херсон, 2012г.).

Публикации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 15 научных трудах, в том числе 7 статей – в изданиях, которые утверждены ВАК Украины, 8 публикаций – в тезисах докладов международных конференций.



РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ (ОБЗОР) СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

1.1 Параметры идентификации подвижных единиц

Идентификация подвижных единиц может заключать в себе определение различных характеристик, таких как количество осей, количество вагонов, их осьность, тип, номенклатурные номера вагонов, динамические характеристики движения и т.д. Под подвижной единицей здесь и далее будем подразумевать вагон, локомотив, либо отцеп, в зависимости от рассматриваемой задачи. Степень идентификации зависит от некоторого набора данных, необходимых на данном технологическом участке или для данной системы автоматизации. Так, в парках прибытия и отправления необходима информация о номенклатурных номерах вагонов, на сортировочной горке – о количестве и осьности вагонов в отцепе и т.д.

На сегодняшний день виды идентификации можно разбить на три основные группы (рис.1.1):

- определения номенклатурных номеров подвижных единиц;
- определения статических характеристик подвижных единиц;
- определения динамических характеристик подвижных единиц.

Для каждой из этих групп характерны конкретные задачи и способы идентификации подвижных единиц.

1.2 Определение номеров вагонов

Определение номеров подвижных единиц, чаще всего номеров вагонов, в настоящее время прогрессивно используются на железных дорогах. Эти системы более информативны с точки зрения получения информации о подвижных единицах. По определенному номеру можно будет определить

как некоторые статические характеристики, так и осуществить автоматическое ведение номенклатурно-учетной информации о передвижении транспортных средств на железной дороге, что практически полностью решает ряд задач в области автоматизации управления вагонопотоками. Однако, несмотря на очевидные преимущества и множество технических предложений, проблема считывания в полном объеме (разработка, производство, внедрение и эксплуатация подобных систем) так и не была решена в нашей стране. Экономические причины сводятся к тому, что даже при очень низкой стоимости напольного и бортового оборудования первоначальные вложения, настолько велики, что ни государственные, ни частные инвесторы не желают рисковать. Технологические причины связаны с уровнем развития сетей передачи данных и возможностью взаимодействия с устройствами считывания [1]. В основном такие системы внедряются в экономически развитых странах мира.

Технически такие системы, а именно способы съема информации с подвижной единицы, реализованы с использованием различных методов (см. рис. 1.1):

- волновой, микроволновой метод (радиоволны, волны сверхвысоких частот);
- метод нанесения магнитных меток (магнитное поле наносится на металлические части подвижных единиц, например на колеса);
- оптический метод (теле, фотокамеры, с последующим распознаванием образов видеоизображения);
- индуктивный метод (используется индуктивная связь между считывающим устройством и датчиком);
- акустический метод (съем информации с датчика осуществляется при помощи ультразвука);
- радиоактивный метод (используются датчики с радиоактивным излучением).

Системы автоматического считывания информации с подвижных единиц могут быть использованы в системах управления движением поездов и определения местонахождения подвижного состава. Эти системы предусматривают установку на каждой подвижной единице, соответствующего методу передачи информации, маркера и специального оборудования вдоль железнодорожного пути, которое считывает с маркера информацию в процессе движения подвижной единицы и передает его в систему хранения и обработки данных. Таким образом, возможно получение информации о местонахождении любой подвижной единицы по всей железнодорожной сети страны с точностью до месторасположения последнего пункта считывания.

К любым системам автоматического считывания информации предъявляют три главных требования [2]:

- низкий уровень не выявленных ошибок (не более 10^{-6}). На передачу сигналов между маркером и считывающим устройством не должны оказывать влияние такие условия внешней среды, как дождь, снег,

загрязнения или электромагнитные помехи. Система должна быть нечувствительна к механическим возмущениям и работать при температуре внешней среды от -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$;

–высокая скорость считывания информации для многократного считывания с маркера при максимально допустимых скоростях движения, в том числе с учетом изменения направления движения. Затем эти данные проверяются и сравниваются для подтверждения точности считывания маркера;

–совместимость со всеми существующими устройствами и минимальное текущее обслуживание.

При этом системы автоматической идентификации подвижных единиц позволяют решать следующие технические, технологические и экономические задачи [1]:

–автоматизация снятия информации с борта подвижного состава или транспортного средства в обусловленном месте и с конкретного объекта;

–обеспечение необходимой достоверности получаемых данных без дополнительных затрат на верификацию и контроль;

–формирование и передача полученных данных в необходимой форме по каналам связи для последующего использования в автоматизированных информационных системах;

–обеспечение надежности функционирования в любых климатических условиях без дополнительных затрат на адаптацию;

–обеспечение контроля и учета перемещения транспортных средств и подвижного состава между обусловленными районами, участками транспортного предприятия, различными видами транспорта, подъездными путями грузовладельца и магистральным транспортом;

–слежение за транспортными объектами и размещенными на них грузами на выделенных участках, направлениях в реальном масштабе времени;

–организация учета перехода транспортных объектов на пограничных пунктах железнодорожных станций, морских и речных портах в международном сообщении;

–автоматизация поиска транспортного объекта на территории терминала, склада, причала;

–снижение затрат, связанных со съемом информации с борта транспортного средства и подвижного состава (труд оператора, оборудование пункта считывания, устранение ошибок);

–исключение затрат в автоматизированных информационных системах на организацию контроля, верификацию, исправление ошибок при получении данных об объектах транспорта непосредственно от оператора;

–снижение потерь, связанных с утерей груза, разъединением груза от документа, потерей транспортного средства, хищением груза и т.д.

Внедрение подобных систем на железнодорожном транспорте началось в конце 60-х годов XX века. Первые из них имели ряд

существенных недостатков, которые препятствовали их эффективному использованию в автоматизации технологических процессов на дорогах. Однако последние достижения в области науки и техники позволяют создавать новые, более совершенные и помехозащищенные системы идентификации подвижного состава.

Оптические устройства.

Оптические системы определения номера подвижной единицы были разработаны одними из первых в своем роде. Эти системы можно разделить на две категории:

- системы, построенные на основе комплекса телевизионных камер [2-10];
- системы, использующие специальные датчики, устанавливаемые на подвижные единицы и устройства считывания информации с этих датчиков [2, 6, 8-11].

В системах, использующих телекамеры, информация записывается на магнитные ленты или диски при движении поезда с достаточно большой скоростью. Затем на видеомэгнитофоне происходит воспроизведение записи с пониженной скоростью (вплоть до остановки). Это позволяет оператору рассмотреть номер подвижной единицы и занести его в память ЭВМ или на другой носитель информации. Номер может быть выведен и на экран дисплея.

Первоначально применение таких систем было ограничено из-за необходимости использования напольных осветительных установок и смазывания изображения при движении со скоростями более 24 км/ч. Достижения техники позволили упростить эти проблемы и создать несколько промышленных систем. Благодаря последним разработкам в области компьютерной техники и программного обеспечения появилась возможность автоматически распознавать номер подвижной единицы, используя программные продукты распознавания образов, т.е. возможность создания полностью автоматизированной системы, не требующей вмешательства человека. Трудности эксплуатации такой системы вызваны необходимостью частой профилактики телекамер, чистки объективов, малой достоверностью данных из-за загрязненности номеров подвижного состава, сложностью фокусирования, освещения, погодными условиями (снег, туман, дождь и т.д.) и др.

Подобные системы были внедрены в разных странах мира: система фирмы «Video Masters Inc» (США), телевизионно-цифровой комплекс считывания номеров вагонов (ст. Ярославль-Главный, Россия) и др.

Наибольшее распространение за рубежом получило считывание информации с использованием оптического отражения. В таких системах возможно как однократное, так и многократное считывание номеров, что позволяет автоматически исправить ошибочно принятые сигналы и повысить достоверность считанных данных. В этих системах применяется специальный датчик, прикрепленный к боковой поверхности подвижной единицы, представляющий совокупность черно-белых или цветных полос.

Комбинация этих полос обеспечивает кодирование номера подвижной единицы. При подходе поезда к пункту считывания происходит облучение датчика ультрафиолетовым излучением. Отраженные лучи от кодовых полос датчика поступают в специальный приемник, где происходит усиление и дешифрация сигнала. Большинство подобных систем используют цветные полосы, изготовленные из материала с повышенной отражательной способностью, что обеспечивает более высокую достоверность восприятия информации.

К подобным системам можно отнести оптическую систему «Kartrak» фирмы «Sylvania» (США) [6]. Также одна из таких систем была разработана в г. Днепропетровске в научно-исследовательской лаборатории электроники ДИИТа, под руководством заведующего лабораторией Чанцева К.А. Разработанная система (условное обозначение АИСТ) не уступала, а по некоторым параметрам даже превосходила зарубежные аналоги.

Данная система не нашла практического применения и дальнейшая ее разработка была прекращена.

Основным недостатком этой технологии являлся сам маркер: загрязнение пылью от взвизряющегося балласта и истирающихся тормозных колодок, выцветание под воздействием погодных условий, механические повреждения. Перечисленные недостатки маркеров заставили отказаться от дальнейших разработок подобных систем.

Индуктивные системы.

В такой системе для связи между подвижной единицей и напольными устройствами используется индуктивная связь [2, 6, 9]. Две катушки индуктивности (одна на подвижной единице, другая на напольной установке) образуют трансформатор с воздушным сердечником, через который передается информация. В некоторых случаях сигнал с подвижной единицы наводится непосредственно в рельсовой цепи. Системы с переменной частотой и многочастотные системы обнаружения обеспечивают точную идентификацию ограниченного числа подвижных единиц. Возможности идентификации расширяются при использовании бортового оборудования для модулирования несущей частоты, которая затем расшифровывается напольным устройством.

Вообще системы этого типа работают на несущих частотах ниже 200 кГц, что ограничивает скорость передачи информации и, следовательно, максимально допустимую скорость подвижного состава. Из-за низкой эффективности индуктивной связи бортовые и напольные катушки имеют относительно большие размеры, а расстояние между ними является критическим параметром системы. Кроме того, на подвижных единицах требуется установка усилителей мощности.

Примером таких систем являются ID (США), Railocator (США) и др.

Микроволновые системы.

Системы идентификации, использующие микроволновые технологии передачи данных, сегодня получили наибольшее распространение в нашей стране и за рубежом [1, 2, 6, 12–31]. Принцип действия данных систем

основан на применении сигналов сверхвысоких частот, приблизительно 0,8 – 4,2 ГГц, в зависимости от фирмы-производителя и системы. Датчики устанавливаются либо на боковых поверхностях вагона, в этом случае необходимо два датчика на один вагон, либо под днищем вагона – один датчик на вагон. В зависимости от этого и считывающее оборудование располагается либо на некотором расстоянии от железнодорожного пути (в пределах 2–10 м), либо между рельсами. Принцип действия этих систем зависит от типа используемого датчика, которые подразделяются на три вида:

- активный;
- полуактивный;
- пассивный.

Активные отличаются наличием у датчика собственного элемента питания. В датчиках активного типа используется литиевый элемент питания, расположенный в едином корпусе непосредственно с самим датчиком. Это позволяет увеличивать дальность передачи отраженного датчиком сигнала в среднем в 2–2,5 раза. Срок службы батареи в среднем около 10–15 лет.

Датчики полуактивного типа не имеют собственного элемента питания. Энергию, необходимую для передачи сигнала-ответа, получают от считаемого устройства, используя при этом получаемый высокочастотный сигнал.

Пассивный датчик состоит из специальных отливок с расположенными резонаторами. Резонаторы настраиваются единожды и на протяжении всего времени использования хранят постоянную информацию. Каждая из хранимых цифр или букв может кодироваться одним или несколькими резонаторами.

Наиболее известные системы, в которых используется микроволновой метод идентификации подвижных единиц, следующие: Sicarid (компания «Siemens», ФРГ), Identifier (США), REIS (Канада), Incom (компания «Amtech», США), Dynicom (компании «Amtech» и «Alkatel», страны Европы), ACI (Япония), «Пальма» (Россия), «Лотос» (Россия), «CAIPC» (Украина) и др.

Подобные системы прошли успешные испытания на различных полигонах мира и в разных климатических условиях

Системы с использованием магнитных меток.

В таких информация с помощью электромагнитов записывается на обод колеса в виде магнитных меток [6, 36, 37]. В пунктах опознавания метки регистрируются с помощью магнитоэлектрических считывающих головок, размещенных в специальной шине. Данное устройство считывания расположено на длине не менее длины окружности колеса. Такой тип устройства содержит датчик обнаружения состава, блоки обработки информации и воспроизведения, состоящие из преобразователя и соединенных с ним датчиков. Число и расположение их вдоль рельса соответствуют числу и расположению меток на колесе. При подходе поезда к месту считывания информации датчик обнаружения состава включает сигнал

. При наезде колеса на участок считывания он фиксирует метку, которая максимально приближена в данный момент к поверхности рельса. Преобразователь вырабатывает сигнал, который поступает на входы дешифратора и блока обработки информации. После окончания считывания информации устройство автоматически отключается.

Большинство подобных систем было разработано в нашей стране, а именно в ХИИТе (г.Харьков), и России. Эти системы прошли успешные испытания на полигонах и выделенных участках железных дорог, но масштабного распространения пока не получили.

Акустические системы.

В устройствах с акустическим отражением используют ультразвук [5]. Датчик на подвижной единице может не иметь собственного источника питания, но тогда его размеры будут значительными. На его работу заметно влияют посторонние шумы. Практического распространения эти устройства не получили.

Радиоактивные системы.

Для автоматического считывания информации с подвижных единиц возможно применение проникающих излучений радиоактивных изотопов [38]. В этом случае кодовые датчики подвижных единиц наиболее удовлетворяют требованиям железных дорог, а именно, применение изотопного излучения имеет преимущество в проникновении сигнала через грязь, воду, снег, лед и т.д. на глубину и размеры, необходимые для устройств автоматических систем идентификации. Изотопное излучение содержит в себе три вида лучей: альфа, бета и гамма. Альфа-частицы, ввиду низкой проникаемости не рассматриваются. В данных методах используются только бета и гамма-лучи, проникающие через большой слой посторонних веществ без существенного затухания.

Подобные разработки систем идентификации с использованием излучения изотопов не нашли практического применения.

Системы спутниковой навигации

На сегодняшний день в мире существует несколько навигационных систем, использующих искусственные спутники Земли [32–34]. Глобальный сервис позиционирования практически в любом месте нашей планеты осуществляют лишь две: российская ГЛОНАСС и американская GPS, тогда как локально работают или готовятся к развертыванию следующие системы: европейская Galileo, IRNSS (индийская спутниковая региональная система навигации), китайская Compass, японская QZNSS (квазизенитная спутниковая система).

Американская GPS позволяет в любом месте Земли, исключая приполярные области, почти при любой погоде, а также в космическом пространстве вблизи планеты определить местоположение и скорость объектов. Система разработана, реализована и эксплуатируется Министерством обороны США.

Основной принцип использования системы – определение местоположения путем измерения расстояний до объекта от точек с

известными координатами – спутников. Расстояние вычисляется по времени задержки распространения сигнала от посылки его спутником до приема антенной GPS-приемника. То есть, для определения трехмерных координат GPS-приемнику нужно знать расстояние до трех спутников и время GPS системы. Таким образом, для определения координат и высоты приемника используются сигналы как минимум с четырех спутников.

ГЛОНАСС – российская глобальная навигационная система, разработанная по заказу Министерства обороны СССР, предназначена для определения местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости и направления движения и т. д.) для наземных, водных и воздушных объектов. Глобальная оперативная навигация дает возможность подвижному объекту, оснащенный навигационной аппаратурой, в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить параметры своего движения.

В настоящее время развитием проекта ГЛОНАСС занимается Федеральное космическое агентство (Роскосмос) и ОАО «Российские космические системы».

Основное отличие от системы GPS в том, что спутники ГЛОНАСС в своем орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабильность. Таким образом, космический аппарат ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования. Однако срок службы спутников ГЛОНАСС заметно короче.

В течение ближайших лет Европейский Союз (EU) и Европейское космическое агентство (ESA) планируют ввести в эксплуатацию новую европейскую глобальную спутниковую навигационную систему Galileo («Галилео»). В отличие от американской GPS и российской ГЛОНАСС, система Галилео не контролируется национальными военными ведомствами, однако, в 2008 году парламент ЕС принял резолюцию «Значение космоса для безопасности Европы», согласно которой допускается использование спутниковых сигналов для военных операций, проводимых в рамках европейской политики безопасности. Разработку системы осуществляет Европейское космическое агентство.

Таблица 1.1 – Сравнительные характеристики спутниковых систем навигации

Характеристика	Наименование системы		
	GPS	ГЛОНАСС	Galileo
Количество спутников	27	24	30
Количество орбитальных плоскостей	6	3	3
Разделение спутников по	Неравномерное	Равномерное	Равномерное

орбитальным плоскостям			
Наклон орбитальных плоскостей, °	53-56	64,8	54
Высота орбиты, км	20183	19100	23224
Номинальная точность, м	1,8	2,8	1
Используемая частота	L1 = 1575,42 МГц L2 = 1227,6 МГц	L1 = 1602, 5625–1615,5 МГц L2 = 1246, 4375–1256,5 МГц	E1 = 1575,42 МГц E5 = 1191,795 МГц E5A = 1176,46 МГц E5B = 1207,14 МГц E6 = 12787,75 МГц

1.3 Определение статических характеристик подвижных единиц

Совместно с системами автоматического определения номера вагона на железнодорожном транспорте достаточно широко используются системы определения статистических характеристик подвижного состава и контроля его перемещения. Эти системы начали разрабатываться и внедряться с момента введения на железных дорогах первых автоматизированных систем учета и управления движением подвижного состава. В основном их задача заключалась в сборе информации на некотором замкнутом пространстве, например на сортировочных станциях. На сегодняшний день именно эти системы являются главными источниками получения информации и управления подвижными единицами на железных дорогах нашей страны и ближнего зарубежья. Системы определения статических характеристик подвижных единиц менее критичны с экономической точки зрения по сравнению с системами автоматического определения номера, и в ряде случаев их применение является полностью информационно-достаточным для выполнения поставленных задач, а в некоторых случаях и единственно возможным.

К задачам таких систем относится определение следующих статических характеристик подвижного состава, прошедшего контрольный участок: количества осей, количества и осности подвижных единиц, тип подвижных единиц (имеется в виду платформа, крытый вагон и др.) и т.д. При этом, каждая из систем представлена в виде реализованного метода идентификации подвижных единиц, состоящего из алгоритмов сбора, обработки и анализа данных, а также конструктивных особенностей измерительного участка и используемых средств железнодорожной автоматики.

Выполнив анализ существующих методов идентификации статических характеристик подвижных единиц [39–96], они были

сгруппированы по таким признакам:

- по использованию средств железнодорожной автоматики;
- по решаемым задачам идентификации;
- по влиянию динамики движения подвижных единиц на точность и правильность идентификации.

Идентификация подвижных единиц производится на специальных участках железнодорожного полотна – контрольных участках, оснащенных средствами железнодорожной автоматики. В зависимости от используемого комплекта средств железнодорожной автоматики, которым оборудован контрольный участок, системы определения статических характеристик подвижных единиц можно разделить на две категории:

- использующие только точечные путевые датчики (ТПД);
- использующие вместе с ТПД другие средства железнодорожной автоматики.

ТПД расставляются на рельсах железнодорожного полотна (с одной или двух сторон, в зависимости от предлагаемого метода) контрольного участка. При движении по контрольному участку подвижных единиц происходит срабатывание датчиков в момент прохождения колеса тележки в зоне его чувствительности. По снятым показаниям датчиков осуществляется идентификация подвижных единиц. Возможно объединение нескольких датчиков в единое целое, так называемую контрольную точку фиксации проследования колеса. Так два спаренных датчика могут контролировать не только момент наезда колеса, но и направление его движения. Существует множество видов ТПД, различаемых по физике процесса фиксации колеса, техническим характеристикам, средствам связи и т.д. Однако, с точки зрения проектировщика систем идентификации, наиболее важными, в зависимости от проектируемой системы, являются следующие характеристики ТПД:

- точность фиксации колеса подвижной единицы;
- показатель постоянства длины зоны действия колеса;
- показатели ложного срабатывания и пропуска колеса подвижной единицы;
- правильность работы датчика при высоких и низких скоростях движения подвижных единиц, особенно при низких скоростях движения, если рассматривать процесс идентификации применительно к сортировочным станциям;
- влияние на работу датчиков климатических, погодных и температурных условий.

К дополнительным устройствам идентификации могут относиться и другие средства железнодорожной автоматики. Чаще всего это либо скоростемеры, определяющие скорость движения подвижных единиц на контрольном участке, либо фотоэлементы, определяющие присутствие подвижных единиц на контрольном участке и зазоры между ними, а также рельсовые цепи.

При выборе использования метода идентификации необходимо четко определиться с поставленными задачами, которые в свою очередь могут подразделяться:

- подсчет общего количества осей ;
- определение количества и осности подвижных единиц;
- определение количества и осности подвижных единиц с разделением на вагоны и локомотивы;
- определение межосевых расстояний с целью определения, например, длин базных подвижных единиц;
- определение межосевых расстояний подвижных единиц с целью определения их типа.

Каждой из рассмотренных задач соответствуют определенные методы идентификации, имеющие свои области применения и некоторые ограничения. Чаще всего эти ограничения обусловлены невозможностью идентифицировать весь парк подвижных единиц либо из-за несоответствия межосевых расстояний некоторых из них для конкретного метода идентификации, либо из-за размещения контрольного участка в зоне неблагоприятных характеристик движения подвижных единиц.

По влиянию динамики движения подвижных единиц на точность и правильность работы системы идентификации подразделяются таким образом:

- системы, в которых динамика движения подвижных единиц оказывает существенное влияние на правильность идентификации;
- системы, в которых динамика движения подвижных единиц не является критичной для результатов идентификации.

В данном случае динамика движения характеризуется значениями скорости и ускорения движения подвижных единиц на измерительном участке. Особенно это существенно для измерительных участков, расположенных на сортировочной горке, где значение ускорения не является постоянной величиной. Поэтому ряд методов, рассчитанных на постоянную скорость движения (ускорение равно нулю) или постоянность ускорения, недопустимы для применения на сортировочной горке или в другом месте с подобными характеристиками движения.

В целом, большинство из рассмотренных методов идентификации связаны с определением количества и осности подвижных единиц, входящих в состав отцепа или поезда. При этом правильность работы этих методов ограничивается либо показателями динамики движения подвижных единиц, либо набором идентифицируемых подвижных единиц.

Известны методы определения количества и осности подвижных единиц с использованием одного датчика на контрольном участке [65]. В общем, идея метода, описанного в [65], заключается в определении момента времени, когда датчик находится между внутренними осями подвижной единицы. Для этого измеряются интервалы времени между наездом на датчик колес подвижной единицы, при этом принимается, что интервалы времени пропорциональны расстоянию между колесами подвижной единицы

и обратно пропорциональны скорости движения. Далее определяется отношение интервала наезда первого и второго колеса подвижной единицы к интервалу времени между наездом второго и третьего колеса. Для всех наиболее распространенных типов вагонов внутреннему межосевому расстоянию соответствует отношение, величина которого не превышает значения 0,68, в то время, как для всех остальных межосевых расстояний отношение равно или более 0,8. При нахождении датчика между внутренними осями подвижной единицей фиксируется ее осьность. Последующие наезды колес подвижной единицы уменьшают значение счетчика осьности, пока он не обнулится, что свидетельствует о полном прохождении подвижной единицы. В данном методе вызывает сомнение правильность выбора коэффициентов 0,68 и 0,8. Так, при движении 8-осного вагона с расстояниями между осями тележек равными 1850 мм, 1350 мм, 1850 мм отношение между расстояниями 2–3 и 3–4 колесами равно округленно 0,73, что меньше 0,8. Коэффициент 0,68 критичен только для одной из моделей полувагонов с расстоянием между внутренними осями равным 2730 мм. Следует отметить, что выбор коэффициентов не учитывает погрешности датчика фиксации колеса подвижной единицы, а также возможного ускорения движения, которые также повлияют на изменения значения коэффициентов. Подобные методы наиболее применимы на участках движения с постоянной скоростью.

Для подсчета количества и осьности подвижных единиц в случае неоднородности движения (не постоянная скорость, остановка, реверсивные движения) применяются методы с использованием двух и более датчиков, расположенных на контрольном участке. При двух датчиках их расположение на контрольном участке выполняется на расстоянии, не превышающем минимальное расстояние между колесами подвижных единиц (менее 1350 мм). Подобное расположение позволяет отслеживать реверсивные движения подвижных единиц при подсчете количества осей. Подсчет количества вагонов и их осьность определяется показаниями счетчиков, когда измерительный участок находится между внутренними осями подвижной единицы. При этом контрольный участок должен быть длиной не более минимального расстояния между внутренними осями подвижной единицы. Для этого возможно использование рельсовой цепи или третьего датчика, ограничивающего контрольный участок. Ограничением использования данных методов являются конструктивные особенности некоторых вагонов. В качестве разделения вагонов возможно использование фотодатчиков. Однако в ряде случаев, например для 8-осных цистерн, возможны ложные срабатывания фотодатчика, что ограничивает его применение для подобных методов идентификации.

Разработан метод определения количества и осьности подвижных единиц с использованием двух контрольных точек. Каждая контрольная точка состоит из двух датчиков с перекрывающимися зонами действия. Подобное расположение датчиков позволяет отслеживать реверсивные движения подвижных единиц каждой из контрольных точек. Контрольные

точки располагаются на участке длиной не более минимального расстояния между внутренними осями подвижной единицы. Данный метод наиболее стабилен к разным типам подвижных единиц, а также параметрам их движения.

Методы, использующие три и более датчика для определения количества и осности подвижных единиц, основаны на фиксации одновременного срабатывания нескольких датчиков. Датчики устанавливаются на контрольном участке на расстояниях, равных расстояниям между осями ряда подвижных единиц. Данные методы идентификации сильно ограничены выбранным парком подвижных единиц.

1.4 Идентификация ходовых свойств подвижных единиц на сортировочных горках

Основным показателем, характеризующим ходовые свойства подвижных единиц применительно к сортировочным станциям, является величина сопротивления движению. Она существенно влияет на конструктивные особенности сортировочных горок (профиль, высота), их оборудования (мощность и размещение тормозных позиций), а также на регулирование процесса скатывания вагонов с горки. Сопротивление движению складывается из следующих значений [97]:

- основное сопротивление движению ω_0 ;
- сопротивление от воздушной среды и ветра $\omega_{\text{ср}}$;
- дополнительное сопротивление от кривых и стрелочных переводов $\omega_{\text{кс}}$.

От того насколько точно будут определены выше перечисленные значения, зависят и качественные показатели процесса роспуска вагонов на сортировочных горках.

Величина основного сопротивления движению зависит от многочисленных факторов: состояния ходовых частей вагонов, типа подшипников, веса вагона, температуры наружного воздуха, простоя вагона до роспуска в парке прибытия, уклона пути, конструкции и состояния верхнего строения пути и др. При этом фактор «состояния ходовых частей» является решающим [97].

Определение основного сопротивления возможно двумя способами. Первый заключается в определении весовой категории вагона, по значению которой далее определяется среднестатистическое значение искомой величины [97–102]. Этот способ является наиболее простым, с точки зрения использования технических средств и выполнения необходимых при этом вычислений, но и менее точным. Второй, более точный способ, заключается в определении ускорения движения вагона при его скатывании с горки [88, 94–99]. Главным его недостатком является переменность ускорения при движении вагона по горке и дополнительное оборудование сортировочной горки средствами железнодорожной автоматики. В этом случае основное

сопротивление движению определяется по существующей методике [94, 99]:

$$\text{где } i_{\text{ср}} - \text{среднее значение уклона пути;} \quad (1.1)$$

$$a_{\text{ср}} - \text{значение ускорения движения вагона;} \\ g' - \text{ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся масс вагона.}$$

Из формулы 1.1 видно, что определение значения основного

Рисунок 1.2 – Структура участков для измерения ускорения движения вагонов на горке

сопротивления движению напрямую зависит от точности определения значения ускорения. На сегодняшний день существует множество методов повышения качества определения ускорения, однако сам принцип во всех методах одинаковый.

Для определения ускорения выбирается контрольный участок с расположенными на нем датчиками. При этом наиболее часто датчики располагаются, как это показано на рис.1.2 а и 1.2 б [88, 99]. В первом случае происходит определение ускорения способом определения мгновенных значений скоростей V_1 и V_2 на участках L_{k1} и L_{k2} , расположенных на расстоянии L друг от друга, в моменты времени, отличающихся на время t :

на прямолинейном участке пути

$$\text{;} \quad (1.2)$$

на кривом участке пути

$$\text{.} \quad (1.3)$$

Во втором случае используются три датчика, установленные на расстоянии $L/2$ (L – длина контрольного участка), при помощи которых замеряются временные интервалы t_1 и t_2 между наездом на них колесных пар подвижных единиц:

(1.4)

Однако вычисленное такими способами ускорение имеет значимую, для систем автоматизации процесса роспуска составов, погрешность. Эта погрешность зависит от разных причин: неравномерности уклона, длины контрольного участка, длины отцепа и т. д. Поэтому большинство работ, выполненных в этом направлении, связано с оценкой и уменьшением возможных погрешностей определения ускорения [88, 96, 99–106].

Исследованию сопротивления подвижному составу от воздушной среды и ветра посвящен ряд работ [108, 115–117]. В целом в этих работах сопротивление от воздушной среды и ветра вычисляется по формуле [99]

(1.5)

где C – коэффициент сопротивления воздушной среды;
 F – площадь поперечного сечения подвижного состава;
 G – вес отцепа;
 $V_{отц}$ – скорость движения отцепа;
 $V_{вет}$ – скорость ветра;
 α – угол между направлениями движения отцепа и ветра.

Главная сложность в определении сопротивления от воздушной среды и ветра заключается в определении коэффициента C , который в свою очередь в основном зависит от формы и веса отцепа. Ранее этот коэффициент принимался равным 0,067 [98]. Но, как в дальнейшем показали проведенные исследования, при таком значении коэффициента C результаты занижены в среднем на 5–6 % [97]. В дальнейшем значения коэффициента C были изменены с учетом формы и типа подвижных единиц, их количества в отцепе и т.д. При этом в основном использовалось два подхода [117]:

–динамометрический. Применяется к натуральному поезду, воздушное сопротивление при этом определяется как разность между общим сопротивлением движению и его составляющими не аэродинамического происхождения;

–аэродинамический. Метод основан на весовых испытаниях моделей подвижных единиц в аэродинамической трубе и дает возможность определять воздушное сопротивление в идеализированных условиях.

Определение сопротивления от стрелочных переводов и кривых в основном также основано на аналитическом и экспериментальном уровне [97, 108, 118]. При расчете удельного сопротивления от кривой применяется формула [99]

(1.6)

где k – постоянный коэффициент, учитывающий все факторы ($k=525$);
 R – радиус кривой.

При этом в работе [97] предлагается брать коэффициент k равным 497 в летнее время и 527 в зимнее. Возможно определение сопротивления от кривой по формуле [108]

$$\text{где } \rho - \text{коэффициент удельной работы от кривой при центральном угле, равном } 10; \quad (1.7)$$

$$\alpha - \text{величина центрального угла кривой;}$$

$$l_k - \text{длина кривой.}$$

Удельное сопротивление от ударов на стрелках невелико, его определяют по эмпирической формуле

$$\text{где } l_c - \text{длина стрелочного перевода.} \quad (1.8)$$

Для расчета величины сопротивления движению от прохода отцепа по стрелкам и прямым можно принять средние удельные значения этих сопротивлений одинаковыми для хороших и плохих бегунов, вычисляемые по следующему уравнению

$$\text{где } n - \text{число стрелочных переводов;} \quad (1.9)$$

$$l_{уч} - \text{длина участка.}$$

Однако в дальнейшем предусматривается изменение сопротивления от кривых для каждого отцепа перед II тормозной позицией с соответствующей корректировкой, зависящей от маршрута следования.

Выводы

Рассмотрев возможные способы автоматизации считывания номеров подвижных единиц и тенденции развития процессов автоматизации в данной области как в нашей стране, так и за рубежом, можно отметить факт явного преобладания систем использующих микроволновой метод передачи информации. При этом нельзя не принять во внимание системы с использованием телевизионной аппаратуры с последующей обработкой видеоизображения. Данные системы имеют главное преимущество – отсутствие на подвижных единицах дополнительного оборудования (датчиков). Что касается остальных систем, то их использование на данный момент времени практически не удовлетворяет поставленным задачам автоматизации.

Однако последние тенденции развития и доступности систем спутниковой навигации, однозначно позволяют сделать вывод о перспективности использования их на железнодорожном транспорте. Данные системы достаточно комплексно помогут решить ряд задач управления вагонопотоками.

По результатам исследования методов идентификации подвижных единиц с использованием контрольных участков и установленных на них средствами железнодорожной автоматики, были сделаны следующие выводы:

—при внедрении метода идентификации необходимо по возможности использовать все средства железнодорожной автоматики, доступные на выбранном контрольном участке;

—при внедрении систем идентификации возможно на одном контрольном участке организовать работу двух и более методов идентификации, подходящих для данного контрольного участка, а именно под его конструктивные особенности. Подобная интеграция приведет к повышению качества идентификации;

—в процессе идентификации необходимо использовать дополнительную информацию, представленную в документообороте автоматизированных систем слежения за подвижными единицами;

—в ряде задач подобная идентификация является единственным способом получения информации о подвижных единицах. Применение других способов либо неприемлемо, либо экономически невыгодно.

Как отмечалось выше, микроволновые методы идентификации подвижных единиц безусловно наиболее информативны и надежны. Однако и у них есть ряд недостатков. Поэтому наиболее правильным будет использование систем, включающих в себя несколько различных методов идентификации. Подобная интеграция, безусловно, приведет к повышению качества и надежности идентификации.

Повышение качества определения ходовых свойств подвижных единиц возможно как с применением более точного и надежного оборудования, так и при использовании множества методов, систем, законов, норм и т.д., которые постоянно разрабатываются, модифицируются как в нашей стране, так и за рубежом.

РАЗДЕЛ 2

МЕТОДЫ определениЕ количества и осности подвижных единиц

2.1 Анализ типов вагонов и локомотивов железнодорожного подвижного состава колеи 1520 мм

В большинстве задач автоматической идентификации статических характеристик подвижных единиц железнодорожного транспорта наиболее важным параметром являются межосевые расстояния. Только на основе общего анализа подвижных единиц, а именно их межосевых расстояний, возможны разработки методов идентификации, которые в свою очередь определяют количество, характеристики и расположение оборудования на выбранном контрольном участке.

При разработке методов идентификации подвижного состава необходимо детально изучить ряд характеристик подвижных единиц. Для этого был проведен анализ действующего парка подвижных единиц, а также разрабатываемых моделей, на железных дорогах нашей страны и стран СНГ. Анализ проводился для вагонов всех видов, описанных в [119], локомотивов, используемых на сортировочных станциях [120], а также транспортеров.

Все подвижные единицы были разделены по типам:

- крытый вагон;
- платформа;
- цистерна;
- полувагон;
- вагон бункерного типа;
- вагон-самосвал;
- транспортер.

Каждый из этих типов подвижных единиц подразделялся по осности:

- 4-осный;
- 6-осный;
- 8-осный;
- 12-осный (транспортер);
- 20-осный (транспортер).

Локомотивы (тепловозы) подразделялись только по осям:

- 6-осный;
- 8-осный.

В качестве параметров идентификации статических характеристик подвижных единиц были выбраны следующие (на рис. 2.1 графически отображены все межосевые расстояния, подлежащие анализу):

- осность подвижной единицы (n);
- расстояние между головкой автосцепки и крайней осью подвижной единицы ($L_{сц}$);
- расстояние между внутренними осями подвижной единицы ($L_{вн}$);

- расстояние между осями тележки подвижной единицы (Лось);
- база тележки (Лбт);
- база подвижной единицы ($L_{бв}L_{вн}+2\cdot L_{бт}$).

В таблицах А.1, А.2, А.3 представлены количественные значения межосевых расстояний для 4-х, 6-ти и 8-осных подвижных единиц соответственно. Все элементы строк таблицы отсортированы по возрастанию значения $L_{вн}$, а в графах 4 и 5 (5 и 6 для таблиц 2.2 и 2.3) – приведена разность для $L_{вн}$ и $L_{сц}$ между рядом стоящими значениями этих величин.

Транспортеры подразделялись по осности на 12-осные и 20-осные со следующими значениями межосевых расстояний: $L_{сц}=1260$ мм, $L_{вн}=12645$ мм, $L_{ось}=1525$ мм и $L_{сц}=1080$ мм, $L_{вн}=14560$ мм, $L_{ось}=1360, 1210$ мм (расстояние между осями в тележке 1360 мм, между тележками 1210 мм) соответственно. В качестве поездных локомотивов были рассмотрены ВЛ11, ВЛ8, ВЛ60.

Общие показатели межосевых расстояний следующие:

- расстояние между головкой автосцепки и крайней осью подвижной единицы $L_{сц}$: минимальные значения 915, 810, 1140 мм и максимальные значения 2705, 2310, 2310 мм соответственно для 4-х, 6-ти и 8-ми осных подвижных единиц;
- расстояние между внутренними осями подвижной единицы $L_{вн}$: минимальные значения 4020, 4400, 2730 мм и максимальные значения 17150, 7440, 11620 мм соответственно для 4-х, 6-ти и 8-осных подвижных единиц;
- расстояние между осями тележек подвижной единицы $L_{ось}$: 1850 мм для 4-осных вагонов; 1500, 1700, 1750, 1850 и 2100 мм для 6-осных подвижных единиц; 1850-1350-1850 мм и 2100 мм для 8-осных подвижных единиц.

Анализ межосевых расстояний подвижных единиц показал, что наиболее важным параметром для их идентификации (определения типа) является расстояние между внутренними осями. Значения расстояний между внутренними осями менее повторяющиеся и имеют наибольший разброс для разных типов подвижных единиц. Поэтому именно это расстояние можно использовать в качестве главного параметра, характеризующего подвижную единицу. Вторым по значимости параметром идентификации подвижной единицы является расстояние между головкой автосцепки и крайней осью. Этот параметр можно использовать в качестве вспомогательного, при этом в некоторых случаях он является единственно возможным для определения типа подвижной единицы (в случае, когда расстояния между внутренними осями одинаковые для разных типов подвижных единиц, имеющих одинаковую осность). Расстояния между осями тележки являются наименее информативными с точки зрения определения типа подвижных единиц.

Стоит отметить характерную особенность 4-х и 8-осных вагонов. Она состоит в том, что для этих вагонов используются тележки с одинаковым межосевым расстоянием, равным 1850 мм (для 8-осных по две тележки, расстояние между внутренними осями смежных тележек – 1350 мм). Для 6-осных вагонов используются тележки симметричные относительно центральной оси и имеющие расстояния между внешними осями (база тележки) - $L_{бт}$ (см. рис. 2.1) равные 1500, 1700, 1750 мм.

При анализе была выявлена следующая закономерность: расстояние между внутренними осями вагона $L_{вн}$ не менее чем в 2 раза больше расстояния между 1-й и 2-й осью этого вагона. Исключением являются 8-осный полувагон с глухим кузовом для медной руды, модель 22-466 (расстояние между 1-й и 2-й осью равно 1850 мм, а между внутренними осями - 2730 мм) и маневровый тепловоз ЧМЭЗ (расстояние между 1-й и 2-й осью равно 2100 мм, а между внутренними осями 3400 мм).

Далее анализ подвижных единиц проводился следующим образом. Для подвижных единиц всех типов каждой осности в отдельности, определялась разность межосевых расстояний между внутренними осями $L_{вн}$ и между головкой автосцепки и крайней осью $L_{сц}$, для двух рядом стоящих значений (в отсортированной таблице). Сортировка таблицы была выполнена по значению $L_{вн}$, выбранному в качестве главного информационного показателя типа подвижной единицы. Результат приведен в таблицах 2.1, 2.2 и 2.3 соответственно для 4-х, 6-ти и 8-осных подвижных единицах (правые две колонки).

Анализируя полученные разности межосевых расстояний, можно сделать следующий вывод: существуют вагоны разных типов, имеющие одинаковые межосевые расстояния или одинаковое расстояние между внутренними осями (принятое как главный параметр, характеризующий подвижную единицу). Поэтому в методах идентификации подвижных единиц необходимо учитывать возможные совпадения межосевых расстояний и применять дополнительные способы идентификации или показывать возможное обобщение результатов идентификации.

2.2 Идентификации подвижных единиц с использованием одной контрольной точки

2.2.1 Математическое описание метода идентификации подвижных единиц

Согласно проведенному выше анализу методов идентификации подвижных единиц с использованием точечных путевых датчиков была выделена группа методов определения количества и осности подвижных единиц в отцепе. В основном принцип действия этих методов заключается в следующем:

- определение времени, когда контрольная точка или комбинация контрольных точек находится между крайними осями смежных подвижных единиц;

- определение времени, когда контрольная точка или комбинация контрольных точек находится между внутренними осями подвижной единицы.

Определение количества и осности подвижных единиц в первом случае достаточно проблематично для существующего разнообразия используемых вагонов и локомотивов. Поэтому применение таких методов возможно только для ограниченного парка подвижных единиц. Методы с определением момента прохождения середины подвижной единицы не столь критичны к разнообразию парка подвижных единиц и поэтому более распространены на железных дорогах. При этом возможно использование одной контрольной точки, двух и более, расставленных на расстоянии, зависящем от алгоритма идентификации. Применение методов с использованием одной контрольной точки является наиболее дешевым способом идентификации, и при этом данные методы могут позволить дополнительно увеличивать надежность или информационность уже работающих систем без технических изменений контрольного участка.

В большинстве случаев главными недостатками подобных методов является непринятие во внимание влияния следующих факторов:

- погрешность срабатывания датчика или датчиков, формирующих контрольную точку;

- влияния на процесс идентификации скорости и ускорения движения подвижных единиц.

В подобных системах считается, что погрешность срабатывания датчиков достаточно мала, а скорость движения подвижных единиц постоянна [60, 65, 71, 78, 79, 87]. Но, как показали проведенные испытания (процесс идентификации моделировался на ЭВМ), пренебрегать этими факторами нельзя.

В данной работе предлагается метод определения осности и количества подвижных единиц в отцепе с использованием одной контрольной точки на участке идентификации. Этот метод основан на определении времени, когда контрольная точка находится между внутренними осями подвижной единицы. Отличие этого метода от его аналогов, разработанных ранее, заключается в учете погрешности срабатывания датчика и учете ускорения движения подвижных единиц.

Контрольный участок, на котором происходит идентификация подвижных единиц, состоит из следующих устройств железнодорожной автоматики:

- одна контрольная точка, представленная в виде точечного путевого датчика с возможно минимальной зоной срабатывания;

- устройство определения нахождения подвижной единицы на контрольном участке. В качестве этого устройства может быть использована рельсовая цепь или фотодатчик.

Идея метода заключается в следующем: измеряется время ($t_{\text{ось}}$) между наездом колес 1-й и 2-й оси подвижной единицы на контрольную точку (расстояние между осями S_{12}); полученное значение времени $t_{\text{ось}}$ умножается на некоторый коэффициент μ и получаем время $t_{\text{ож}}$ ($t_{\text{ож}} = t_{\text{ось}} \times \mu$), в полученном промежутке времени ожидается наезд на контрольную точку следующего колеса подвижной единицы. Далее замеряется следующий интервал между наездом колес на датчик $t_{\text{тек}}$. В случае если следующее колесо наехало на контрольную точку в течение времени $t_{\text{ож}}$ ($t_{\text{тек}} < t_{\text{ож}}$), это значит, что эта ось принадлежит этой же либо спаренной с ней тележке. Если следующее колесо наехало на контрольную точку по истечению времени $t_{\text{ож}}$, это значит, что контрольная точка в этот промежуток времени $t_{\text{ож}}$ находилась между внутренними осями подвижной единицы. При идентификации 6-ти и более осных подвижных единиц, значение $t_{\text{ож}}$ пересчитывалось. Значение $t_{\text{ось}}$ принималось равным времени между наездом на контрольную точку 3-й и 4-й осями для 8-осной подвижной единицы (t_{34} , расстояние между осями S_{34}), 5-й и 6-й осями для 12-осных подвижных единиц (t_{56} , расстояние между осями S_{56}) и т.д.

При движении подвижной единицы через контрольную точку подсчитывается количество осей, удовлетворяющих вышеописанному условию для осей, промежутков которых между наездом на контрольную точку меньше $t_{\text{ож}}$. Подсчитанное количество осей, умноженное на 2 (принимая, что идентификации подлежат подвижные единицы симметричные по осности относительно центра), определяет осность подвижной единицы.

Движение первой и всех последующих осей тележки подвижной единицы (до ее центра) увеличивает значение счетчика осей на 1, а все последующие оси, проходящие контрольную точку, уменьшают его содержимое на 1. Обнуление счетчика осей означает, что подвижная единица полностью прошла через контрольный участок. При этом происходит увеличение счетчика подвижных единиц, прошедших контрольный участок, на 1.

Дальнейшее решение задачи идентификации заключалось в определении коэффициента μ . Для этого был построен следующий математический аппарат.

Были рассмотрены три вида движения отцепа: равноускоренное, равномерное и равнозамедленное.

Погрешность работы датчика характеризуется среднеквадратическим отклонением значения возможной ошибки фиксации центра колеса датчиком σ_d .

Для описания вышеописанных видов движения подвижных единиц использовалась общеизвестная формула движения материальной точки

$$(2.1) \quad S = v_0 t + \frac{a t^2}{2},$$

где S – пройденный путь;

v_0 – начальная скорость движения;

t – время прохождения пути S ;

a – ускорение движения.

В нашем случае под этими величинами надо понимать следующие значения:

– S – расстояние между смежными осями подвижной единицы, для которых замеряется параметр t ;

– $v_0 = v_i$ – скорость наезда на контрольную точку i -той колесной пары подвижной единицы;

– t – время между наездом смежных колесных пар подвижной единицы на контрольную точку;

– a – ускорение движения подвижной единицы.

Для каждого из видов движения и для каждой из вышеописанного списка подвижных единиц, выбирался нижний и верхний интервал значений коэффициента μ . Нижний интервал указывает на значения коэффициента μ , согласно которым ведется подсчет осей, определяющих осьность и вычисляется по формуле

$$(2.2) \quad \mu = \frac{S}{v_0 t + \frac{a t^2}{2}}.$$

Нижний интервал определяется минимальным и максимальным значениями этого коэффициента, для разных видов движения и типов подвижных единиц, удовлетворяющих условию

$$(2.3) \quad \mu \geq \mu_{\min} \text{ и } \mu \leq \mu_{\max}.$$

Верхний интервал указывает на значения коэффициента μ , согласно которым определяется момент расположения датчика между внутренними осями подвижной единицы и вычисляется по формуле

$$(2.4) \quad \mu = \frac{L}{L_0} \cdot \mu_0$$

Верхний интервал определяется минимальным и максимальным значениями этого коэффициента, для разных видов движения и типов подвижных единиц, удовлетворяющих условию

$$(2.5) \quad \mu = \frac{L}{L_0} \cdot \mu_0$$

Результирующее значение коэффициента μ находится в диапазоне

$$(2.6) \quad \mu = \frac{L}{L_0} \cdot \mu_0$$

Для определения значений коэффициента μ были рассмотрены различные виды движения подвижных единиц с учетом влияния погрешности работы датчика. Максимально возможная погрешность датчика при этом вычислялась по правилу трех сигм и равнялась значению $3\sigma_d$.

При движении отцепы с положительным ускорением можно сделать однозначный вывод: время между проходом над контрольной точкой 1-ой и 2-й осями подвижной единицы всегда будет больше времени между проходом над точкой последующих осей этой же тележки или спаренной с ней.

При равнозамедленном движении необходимо учитывать тот факт, что время между проходом над датчиком 1-й и 2-й осями подвижной единицы будет меньше времени между проходом над контрольной точкой других осей этой же или спаренной с ней тележки (за исключением 8-осных вагонов, у которых расстояние между 1-2-й и 2-3-й осями тележек равно 1850мм и 1350мм соответственно, а также транспортеров), и меньше времени между проходом над датчиком внутренних осей подвижной единицы.

При равномерном движении время между проходом над датчиком 1-й и 2-й осей подвижной единицы больше либо равно времени между проходом над контрольной точкой последующих осей этой же или спаренной тележки,

но всегда меньше времени между прохождением над контрольной точкой внутренних осей подвижной единицы.

Исходя из этих предположений и воспользовавшись формулами (2.2) и (2.4), получаем:

—для равноускоренного движения

.3

, (2.7)

.3

; (2.8)

—для равнозамедленного движения

.3

, (2.9)

.3

; (2.10)

– для равномерного движения

.3

$$, \quad (2.11)$$

.3

$$, \quad (2.12)$$

где v_1 – начальная скорость наезда на датчик первого колеса подвижной единицы;

$v_{тек}$ – начальная скорость наезда на датчик последующих колес первой или спаренной с ней тележки;

$v_{ось}$ – начальная скорость наезда на датчик $n/2-1$ колеса подвижной единицы (для 6-ти и более осных подвижных единиц);

$v_{вн}$ – начальная скорость наезда на датчик $n/2$ колеса подвижной единицы;

n – осьность подвижной единицы;

S_{12} – расстояние между 1-ой и 2-ой осями подвижной единицы;

$S_{тек}$ – расстояние между последними двумя осями проехавшими над датчиком;

$S_{ось}$ – расстояние между $n/2-1$ и $n/2$ осями подвижной единицы (для 6-ти и более осных подвижных единиц);

$S_{вн}$ – расстояние между внутренними осями подвижной единицы;

a – ускорение движения подвижной единицы;

σ_d – среднеквадратическое отклонение погрешности датчика.

После определения допустимых значений коэффициента μ для любых видов движения, его окончательное значение выбирается как среднее.

2.2.2. Расчет параметров метода идентификации подвижных единиц

Исходя из описания этого метода, очевидно, что наиболее критичными к процессу идентификации являются подвижные единицы, у которых отношение расстояния между внутренними осями ($L_{вн}$) к расстоянию между 1-й и 2-й осями или осями тележки ближними к центру подвижной единицы, наименьшее. Поэтому при определении границ возможных значений коэффициента μ были выбраны следующие подвижные единицы, подразделяемые по осям:

- 4-осный вагон ($L_{вн}=4020$ мм, $L_{осб}=1850$ мм);
- 6-осный вагон ($L_{вн}=5500$ мм, $L_{осб}=1750$ мм);
- 6-осный тепловоз ($L_{вн}=4200$ мм, $L_{осб}=2100$ мм);
- 8-осный вагон ($L_{вн}=2730$ мм, $L_{осб}=1850$ мм);
- 8-осный тепловоз ($L_{вн}=3400$ мм, $L_{осб}=2100$ мм).

При проведении расчетов варьировались следующие параметры:

- начальная скорость – в диапазоне от 0 до 15 м/с;
- ускорение движения – в диапазоне от -0,3 до 0,3 м/с²;
- ошибка датчика (σ_d) принималась равной 0,01м.

В табл. 2.1 приведены возможные значения коэффициентов μ для 4-осного полувагона. Данная таблица содержит значения коэффициентов как отношения между t_{12} и $t_{вн}$.

В табл. 2.2 приведены возможные значения коэффициентов μ для 6-осного вагона с расстоянием между осями тележки равным 1750 мм. Данная таблица содержит значения коэффициентов как отношения между t_{12} и t_{23} (время между проходом над датчиком 1-2-й осями тележки и 3-4-й).

Таблица 2.1 – Значение коэффициентов μ для 4-осного полувагона ($L_{вн}=4200$, $L_{осб}=1850$)

V ₀ , м/с	Ускорение, м/с ²																
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
15	2,171	2,164	2,157	2,150	2,144	2,137	2,131	2,124		2,173	2,174	2,176	2,177	2,178	2,179	2,180	2,181
14	2,172	2,167	2,161	2,156	2,151	2,146	2,142	2,137		2,173	2,175	2,176	2,177	2,179	2,180	2,181	2,183
13	2,172	2,168	2,164	2,160	2,156	2,153	2,149	2,145		2,173	2,175	2,176	2,178	2,179	2,181	2,183	2,184

12	2,172	2,169	2,166	2,163	2,160	2,157	2,154	2,151	2,270	2,173	2,175	2,177	2,179	2,181	2,182	2,184	2,186
11	2,172	2,170	2,167	2,165	2,162	2,160	2,157	2,155		2,174	2,176	2,178	2,180	2,182	2,184	2,186	2,189
10	2,172	2,170	2,168	2,166	2,164	2,162	2,160	2,158		2,174	2,176	2,179	2,181	2,184	2,187	2,189	2,192
9	2,173	2,171	2,169	2,167	2,166	2,164	2,162	2,160		2,174	2,177	2,180	2,183	2,187	2,190	2,193	2,196
8	2,173	2,171	2,170	2,168	2,167	2,165	2,164	2,162		2,174	2,178	2,182	2,186	2,190	2,194	2,199	2,203
7	2,173	2,171	2,170	2,169	2,167	2,166	2,165	2,164		2,174	2,180	2,185	2,190	2,196	2,201	2,207	2,212
П																	
р																	
о																	
д																	
л																	
ж																	
е																	
т																	
а																	
б																	
л																	
и																	
ц																	
ы																	
2.																	
1																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		11	12	13	14	15	16	17	18
6	2,173	2,172	2,170	2,169	2,168	2,167	2,166	2,165		2,175	2,182	2,189	2,197	2,204	2,212	2,219	2,227
5	2,173	2,172	2,171	2,170	2,169	2,168	2,167	2,166		2,176	2,186	2,197	2,207	2,218	2,230	2,241	2,253
4	2,173	2,172	2,171	2,170	2,169	2,168	2,167	2,167		2,177	2,193	2,210	2,228	2,246	2,265	2,285	2,305
3	2,173	2,172	2,171	2,170	2,170	2,169	2,168	2,167		2,180	2,210	2,241	2,275	2,312	2,351	2,393	2,439
2	2,173	2,172	2,171	2,171	2,170	2,169	2,169	2,168		2,189	2,260	2,343	2,442	2,563	2,718	2,928	3,248
1	2,173	2,172	2,172	2,171	2,170	2,170	2,169	2,168		2,241	2,675						
MAX 2,173 MIN 2,124										MAX 3,248 MIN 2,173							

Таблица 2.2 – Значение коэффициентов μ для тележки 6-ти осного вагона с расстояниями между осями тележки равным 1750мм

V ₀ , м/ с	Ускорение, м/с ²																
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29
15	1, 000	1, 000	0, 999	0, 999	 0,999	0, 998	0, 998	0, 998		1, 000		1, 001	1, 001	1, 001	1, 002	1, 002	1, 002
14	1, 000	1, 000	0, 999	0, 999	 0,998	0, 998	0, 998	0, 997		1, 000		1, 001	1, 001	1, 002	1, 002	1, 002	1, 003
13	1, 000	0, 999	0, 999	0, 999	 0,998	0, 998	0, 997	0, 997		1, 000		1, 001	1, 001	1, 002	1, 002	1, 003	1, 003
12	1, 000	0, 999	0, 999	0, 998	 0,998	0, 997	0, 997	0, 997		1, 000		1, 001	1, 001	1, 002	1, 002	1, 003	1, 004
11	1, 000	0, 999	0, 999	0, 998	 0,998	0, 997	0, 996	0, 996		1, 000		1, 001	1, 001	1, 002	1, 002	1, 003	1, 004

10	1,000	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995	1,000	1,000	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,004	1,005
9	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995	0,994		1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,005	1,006
8	1,000	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992		1,000	1,001	1,002	1,004	1,005	1,006	1,007	1,008
7	1,000	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,991	0,990		1,000	1,002	1,003	1,005	1,006	1,008	1,009	1,011
6	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,988	0,986		1,000	1,002	1,004	1,006	1,008	1,010	1,013	1,015
5	0,999	0,997	0,994	0,991	0,988	0,986	0,983	0,981		1,001	1,004	1,006	1,009	1,012	1,015	1,018	1,021
4	0,999	0,995	0,990	0,986	0,982	0,978	0,974	0,971		1,001	1,006	1,010	1,015	1,020	1,024	1,029	1,034
3	0,998	0,991	0,983	0,976	0,969	0,963	0,957	0,950		1,002	1,010	1,018	1,027	1,036	1,046	1,055	1,066
2	0,996	0,979	0,964	0,950	0,937	0,925	0,914	0,903		1,004	1,023	1,044	1,067				
1	0,983	0,928	0,886	0,852	0,825	0,802	0,783	0,766		1,018							
MA 1, 0, X 000 MIN 766									MAX 1, 1, 067 MIN 000								

Полные данные о коэффициентах μ для подвижных единиц представлены в виде таблиц в приложение Б.

Таблицы 1-5 данного приложения отображают значения коэффициентов μ для правильного определения времени нахождения контрольной точки между внутренними осями подвижной единицы. Эти значения были рассчитаны для выбранных ранее, наиболее критичных к данному методу, по своим межосевым расстояниям, подвижных единиц. Таблицы 6-9 отображают допустимые значения коэффициентов μ для правильной идентификации осей одной или смежных тележек подвижной единицы. Пустые значения ячеек таблиц означают, что данная подвижная единица не пройдет контрольный участок (при отрицательном ускорении произойдет остановка подвижной единицы на контрольном участке) при заданных параметрах движения.

Проанализировав полученные значения коэффициентов μ , были сделаны следующие выводы:

- при равноускоренном движении подвижной единицы необходимо принимать значение коэффициента в диапазоне от 1 до 1,213;
- при равнозамедленном движении подвижной единицы необходимо принимать значение коэффициента μ в диапазоне от 1,153 до 2,224;
- при равномерном движении подвижной единицы необходимо принимать значение коэффициента μ в диапазоне от 1 до 1,476.

На основании общего анализа можно сделать следующий вывод: значение коэффициента μ необходимо принимать из диапазона от 1.153 до 1.213. Разумеется, что наиболее правильно значение коэффициента определяется как среднее значение границ допустимого диапазона, а именно задать его равным 1.183. При этом следует отметить тот факт, что при большем значении начальной скорости движения отцепов зона существования метода идентификации расширяется, а при большем значении ускорения - сужается.

2.2.3 Имитационное моделирование метода идентификации подвижных единиц

Выполнив анализ подвижных единиц, а именно их межосевых расстояний, рассчитав возможные значения коэффициента μ и выбрав наиболее рациональное из них, был окончательно определен алгоритм определения количества и осности подвижных единиц на измерительном участке, состоящем из одной контрольной точки. Общий вид функционирования данного алгоритма приведен на рис. 2.2.

Он состоит из следующих элементов:

- ожидание занятия контрольного участка отцепом. Для этого, как уже писалось выше, возможно использование рельсовой цепи или фотодатчика (в алгоритме приводится использование рельсовой цепи);

- инициализация системы (обнуление счетчиков, сброс триггеров и т.д.). Происходит в момент занятия отцепом контрольного участка;

- ожидание события срабатывания контрольной точки или освобождения отцепом контрольного участка. В первом случае происходит обработка сигнала от контрольной точки, во втором – выдача результатов идентификации и переход системы в исходное состояние («спящий» режим);

- результатом идентификации является количество и осность подвижных единиц, прошедших контрольный участок, который отмечен в алгоритме в блоке печати.

На рис. 2.3 представлен алгоритм обработки сигнала от контрольной точки. Функционально он выполняет следующие задачи:

- определение времени между проходом над контрольной точкой 1-й и 2-й осей подвижной единицы ($t_{ож}$);

- определение времени между проходом последующих осей подвижной единицы ($t_{тек}$);

- проверка нахождения контрольной точки между внутренними осями подвижной единицы;
- изменение счетчика осей СчО. Увеличение его значения на 1 в случае наезда на контрольную точку осей первой тележки подвижной единицы и уменьшение на 1 для последующих осей;
- корректировку $t_{ос}$ для 8-ми, 12-ти и 20-осных вагонов и транспортеров;
- определение момента, когда контрольная точка находится между внутренними осями подвижной единицы;
- определение момента, когда подвижная единица отцепы прошла контрольную точку. При этом происходит увеличение счетчика подвижных единиц на 1.

Представленный алгоритм (см. рис. 2.3) был апробирован на имитационной модели, реализованной в среде программирования Turbo Pascal 7.0. В процессе имитации главной задачей являлась проверка правильности выбора коэффициента μ .

Листинг программы имитационной модели представлен в приложении В.

В процессе моделирования были проведены испытания для 4-х, 6-ти, 8-ми, 12-ти и 20-осных вагонов, локомотивов и транспортеров. Значения скорости и ускорения принимались таким, как и для вычисления коэффициентов μ . Однако фиксация оси подвижной единицы контрольной точкой выполнялась с учетом погрешности работы датчика. Принималось, что погрешность работы датчика подчиняется нормальному закону распределения с заданным значением среднего квадратичного отклонения σ_d [42, 56]. Значения σ_d выбирались из диапазона от 1 мм до 10 мм с шагом 1 мм.

Каждая из исследуемых подвижных единиц проходила 1000 испытаний для каждого из значений скорости, ускорения и среднего квадратичного отклонения ошибки фиксации оси датчиком. В результате каждая из подвижных единиц проходила контрольный участок 2550000 раз. Результаты имитационного моделирования приведены в табл. 2.3. В ячейках

–значение коэффициента μ для всех видов движения выбирается из диапазона от 1,153 до 1,213. При этом наиболее подходящее значение коэффициента μ равно 1,183, как среднее значение результирующего диапазона;

–возможные диапазоны значений коэффициента μ могут изменяться при изменении рассматриваемых значений скорости, ускорения и погрешности работы датчика. При увеличении начальной скорости движения отцеп а зона применения метода идентификации расширяется, а при увеличении ускорения сужается;

–увеличение погрешности работы датчика увеличивает количество ошибок идентификации;

–исключение из списка подлежащих идентификации подвижных единиц существенно может увеличить достоверность работы метода. Такое допущение возможно в случаях использования ограниченного парка подвижных единиц, подлежащих идентификации.

2.3 Идентификации подвижных единиц с использованием двух контрольных точек

2.3.1 Описание метода идентификации подвижных единиц

Как отмечалось ранее решение задачи определения количества и осности подвижных единиц в отцепе возможно с использованием различных методов, однако наиболее рационально эта задача решается в системах, использующих две контрольные точки. Существует ряд подобных методов идентификации [74, 87], но, как показали исследования, предлагаемые методы не совсем корректно работают в ряде случаев. Например, когда расстояние между крайними осями смежных подвижных единиц в отцепе меньше, чем расстояние между контрольными точками.

Согласно проведенному выше анализу межосевых расстояний подвижных единиц, методов идентификации подвижных единиц, с использованием точечных путевых датчиков, а также используемых на железнодорожном транспорте устройств автоматики и вычислительной техники был разработан метод определения количества и осности подвижных единиц с использованием двух контрольных точек.

Контрольный участок предлагаемой системы состоит из следующих средств железнодорожной автоматики:

- рельсовая цепь и (или) фотодатчик;
- точечные путевые датчики;
-

средства преобразования и обработки сигналов.

Конструкция контрольного участка представлена на рис. 2.4.

Принятые сокращения на рис.2.4:

- Д1-Д4 – точечный путевой датчик;
- КТ1, КТ2 – контрольная точка 1, 2;

- П1, П2 – преобразователи сигналов от датчика;

- РЦ – рельсовая цепь;

- Осв – осветитель;

- ФП – фотоприемник;

- ФС – формирователь сигнала от фотоприемника;

- ИЭ – исполнительный элемент.

Рельсовая цепь предназначена для определения нахождения подвижной единицы на контрольном участке. Фотодатчик предназначен для определения момента, когда отцеп пройдет контрольный участок.

Каждая контрольная точка представляет собой два спаренных точечных путевых датчика. Конструкция контрольной точки представлена на рис. 2.5. Каждый из двух датчиков (Д1, Д2) имеет собственную зону восприятия колеса подвижной единицы ($L_{д1}$, $L_{д2}$), при этом датчики установлены таким образом, что их зоны действия накладываются друг на друга ($L_{общ}$). Подобная конструкция позволяет отслеживать реверсивные движения отцепки [73].

В качестве датчиков могут быть использованы точечные путевые датчики с возможностью совместного расположения на рельсе, образующие при этом общую зону действия. Примером таких датчиков могут быть ДП50-80, ДП400 и т.д.

На основании этого были разработаны алгоритмы обработки сигналов от контрольных точек. При этом учитывалось, что контрольные точки выполнены в виде двух точечных путевых датчиков, которые в свою очередь определяют не только наезд колеса подвижной единицы, но и направление его движения.

Алгоритмы обработки сигналов от контрольных точек представлены на рис. 2.6. и 2.7.

Контрольные точки располагаются на рельсе на расстоянии, которое больше чем максимальное расстояние между осями внутри тележек, но меньше чем минимальное расстояние между внутренними осями вагона. Это ограничение было введено для возможности определения момента, когда контрольные точки находятся между внутренними осями вагона. Основываясь на введенном ограничении, расстояние между контрольными точками должно быть в пределах 2100-2750 мм. Учитывая возможную погрешность датчиков, расстояние между контрольными точками принимаем равным 2400 мм.

Принятые в алгоритмах сокращения:

- Сч1, Сч2 – глобальные счетчики осей для КТ1 и КТ2;
- СчV1, СчV2 – счетчики подвижных единиц, прошедших КТ1 и КТ2;
- СчТ1, СчТ2 – счетчики осей тележек для КТ1 и КТ2;

–Т – переменная-флаг определения положения вагона относительно контрольных точек.

Все вышеописанные счетчики работают как на увеличение, так и на уменьшение. Счетчики Сч1 и Сч2 определяют общее количество осей в отцепе, прошедшем контрольный участок. Счетчики СчV1 и СчV2 определяют количество подвижных единиц в отцепе. Счетчики СчТ1 и СчТ2 определяют количество осей в тележках подвижной единицы.

На рис. 2.8 представлены варианты расположения осей подвижной единицы относительно контрольных точек.

При движении на контрольном участке первой тележки подвижной единицы эти счетчики работают на увеличение, а при движении второй – на уменьшение, что определяется состоянием триггера Т. Их обнуление

свидетельствует о проходе подвижной единицы через контрольный участок, при этом происходит изменение содержимого счетчиков ПЕ. Триггер Т отображает положение подвижной единицы на контрольном участке. При движении по контрольному участку первой тележки подвижной единицы он находится в нулевом состоянии. Когда обе контрольные точки будут находиться между внутренними осями подвижной единицы он перейдет в единичное состояние (рис. 2.8а), а полный проход подвижной единицы переведет его опять в нулевое состояние (рис. 2.8б). Изменение состояния триггера Т выполняется по инициативе КТ2 (первоначальное направление

движения выбрано от КТ1 к КТ2).

Главным недостатком большинства подобных методов является сбой в работе, когда в отцепе более одной подвижной единицы и расстояние между крайними осями двух смежных из них меньше, чем расстояние между контрольными точками (рис. 2.8в). Преимущество алгоритмов обработки сигналов в вышеописанном методе заключается в том, что идентификации подлежат все подвижные единицы без какого либо ограничения, связанного с межосевыми расстояниями.

2.3.2. Имитационное моделирование метода идентификации с использованием двух контрольных точек

Для апробации и проверки правильности работы метода определения количества и осности подвижных единиц в отцепе, представленного в данной работе, было выбрано имитационное моделирование. Имитационная модель включает в себя следующие процессы:

- определение исходных данных;
- графическое представление контрольного участка и идентифицируемого отцепа;
- обработка значимых событий, для данного метода, в процессе моделирования;
- управление процессом движения отцепа по контрольному участку;
- выдача на экран (печать) результатов моделирования.

Исходные данные включают в себя конструктивные особенности контрольного участка и количественные и геометрические характеристики идентифицируемого отцепа:

- длина рельсовой цепи;
- координаты расположения фотодатчика;
- расстояние между контрольными точками;
- количество вагонов в отцепе;
- осность каждого из вагонов в отцепе;
- межосевые расстояния и расстояние между головкой автосцепки и крайней осью для каждого из вагонов в отцепе.

Графическое представление движения отцепа по контрольному участку необходимо для визуального контроля и управления процессом идентификации имитационной модели.

Значимые события можно подразделить на два типа: события, происходящие внутри модели и события, вызванные действиями оператора. К первым относятся: наезд колеса вагона на контрольную точку, занятие отцепом контрольного участка и т.д. Ко второму типу относятся события, связанные с управлением процесса движения отцепа, инициируемые

действиями оператора, а именно: остановка, изменение направления и возобновление движения отцеп. Моделирование этих действий связано с технологией роспуска отцепов на сортировочной горке.

Результат моделирования должен содержать следующие данные:

- исходные данные об отцепе и контрольном участке;
- состояние контрольных элементов (счетчиков и триггеров) устройства идентификации в моменты возникновения обрабатываемых событий;
- результаты идентификации: количество и осность вагонов в прошедшем отцепе.

Для разработки имитационной модели была использована среда программирования Borland Delphi 5.0. Разработанная программа реализует все необходимые этапы моделирования процесса движения отцеп, описанные выше. Данная модель представлена как детерминированная, с пространственным изменением координат идентифицируемого объекта.

Листинг программы, реализующей данную модель, представлен в приложении Г.

Программная форма для организации ввода исходных данных представлена на рис. 2.9.

Согласно введенным исходным данным происходит прорисовка на экране контрольного участка и отцеп. Длина рельсовой цепи и координаты размещения фотодатчика являются постоянными величинами и определены согласно описанию контрольного участка (рис. 2.4).

При графическом построении отцеп и контрольного участка на экране принимался масштаб: 1 экранный пиксель – 1 см. Выбранный масштаб является наиболее приемлемым с точки зрения визуального

отображения геометрических размеров вагона на экране, а также не оказывает значимого влияния на погрешность моделирования процесса. После определения исходных данных происходит запуск движения отцепа по контрольному участку.

Во время моделирования возможно управление процессом со стороны оператора. Это достигается путем использования трех кнопок на экранной форме: «Остановка», «Направление» и «Движение» (рис.2.10).

Кнопка «Остановка» предназначена для остановки отцепа на контрольном участке. Кнопка «Направление» выполняет изменение направления движения на обратное, что отображается на экране. Кнопка «Движение» возобновляет движение отцепа в указанном направлении. Манипулируя этими кнопками, оператор может самостоятельно определять динамику реверсивного движения отцепа на участке.

Алгоритм функционирования имитационной модели процесса идентификации представлен на рисунке 2.11.

События, связанные с наездом оси отцепа на одну из контрольных точек, определяются как совпадение координат контрольной точки и оси отцепа. Данная проверка выполняется каждый раз, когда отцеп сдвигается на один пиксель. В случае совпадения координат происходит запуск соответствующего алгоритма обработки наезда на контрольную точку. По мере выполнения алгоритма модели на экранной форме изменяются показания счетчиков и триггеров. Окончанием процесса моделирования является выход отцепа за контрольный участок, что определяется показаниями фотоэлемента. После этого происходит сброс системы (приведение в исходное состояние) для идентификации следующего отцепа.

Счетчики обнуляются, используемые переменные-триггера переводятся в исходное состояние. Вместе сдвигающимся отцепом экранная форма включает в себя отображение значения счетчиков, используемых в алгоритмах метода идентификации.

Каждое из вышеописанных событий отображается в итоговом файле результатов, который по окончании моделирования может быть просмотрен и выведен на печать.

С использованием разработанной модели был проведен ряд экспериментов определения количества и осности вагонов в отцепе. В качестве исходных данных принималось различное количество вагонов в отцепе, варьировалась их осность и межосевые расстояния.

В таблице 2.4 представлены результаты проведенных экспериментов с определением межосных расстояний идентифицируемых отцепов. Рисунок 2.1 отображает графически принятые в таблице 2.4 сокращенные названия межосевых расстояний.

Адекватность модели была проверена при помощи физической модели, представленной в виде уменьшенной копии реального контрольного участка, а также при помощи математико-аналитических расчетов.

Проведенные проверки показали полное соответствие представленной модели реальному процессу движения отцепа на контрольном участке и методам идентификации.

Таблица 2.4 – Результаты имитационного моделирования

Номер эксперимента	Идентифицируемый отцеп								Ошибка идентификации
	1-й вагон				2-й вагон				
	Осноть	$L_{сц}$, мм	$L_{бт}$, мм	$L_{вн}$, мм	Осноть	$L_{сц}$, мм	$L_{бт}$, мм	$L_{вн}$, мм	
1	4	910	1850	4800	-	-	-	-	Нет
2	6	1080	3400	5270	-	-	-	-	Нет
3	8	1560	5050	3400	-	-	-	-	Нет
4	4	910	1850	4800	4	910	1850	4800	Нет
5	4	1420	1850	6020	6	1080	3400	5270	Нет
6	4	2705	1850	15150	8	1640	5050	8870	Нет
7	6	870	3000	4400	6	870	3000	4400	Нет
8	6	2080	3400	5500	8	1330	5050	7200	Нет
9	8	2150	5050	11620	8	1560	5050	8870	Нет

При движении отцепа по контрольному участку выполнялись разные комбинации операций управления движением отцепа. Согласно анализу полученных результатов можно сделать однозначный вывод: предложенный метод определения количества и осности вагонов в отцепе однозначно точно и правильно работает для любых типов и моделей вагонов, абсолютно не зависит от скорости и ускорения движения, относительно не критичен к точности фиксации оси отцепа контрольной точкой.

Выводы

Выполнив анализ параметров межосевых расстояний железнодорожных подвижных единиц колеи 1520 мм, используемых на железных дорогах нашей страны и ближнего зарубежья, были отмечены следующие факторы:

- по межосевым расстояниям возможно определение осности, типа и длины подвижных единиц;
- главным параметром идентификации подвижных единиц являются расстояние между внутренними осями и осность подвижных единиц;
- в качестве второстепенного параметра идентификации возможно использование расстояний между осями тележки и от головки автосцепки до крайнего колеса.

Приняв во внимание возможные расстояния между осями подвижных единиц, а также проанализировав возможную динамику движения и существующие методы идентификации подвижных единиц, были сделаны следующие выводы:

- применение однотоочечного метода идентификации подвижных единиц наиболее целесообразно как вспомогательного, дополнительного метода при наличии других. Данный метод критичен к параметрам движения (непостоянство ускорения, возможность остановки или изменения направления движения и т.д.) подвижных единиц. Наиболее благоприятные условия для этого метода – размещение контрольного участка на пути движения подвижных единиц, где ускорение движения наиболее постоянно;

- применение вычисленного корректирующего коэффициента μ при использовании однотоочечного метода идентификации подвижных единиц, значительно расширяет возможности данного метода и повышает его надежность;

- двухточечный метод идентификации подвижных единиц абсолютно не критичен к параметрам движения подвижных единиц. При идентификации допускаются любые параметры движения (скорость и ускорение), остановка и реверсивные движения подвижных единиц. Метод стабильно работает для всех типов подвижных единиц, используемых на железных дорогах нашей страны.

РАЗДЕЛ 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖОСЕВЫХ РАССТОЯНИЙ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ

3.1 Цели и задачи необходимости определения погрешности идентификации подвижных единиц

Проведенный анализ подвижных единиц показал, что идентифицировать их по межосевому расстоянию с точностью до определения модели по каталогу невозможно, т.к. разные модели подвижных единиц имеют одинаковые межосевые расстояния. Однако в автоматизированных системах управления вагонопотоками на сортировочных станциях в этом и нет необходимости. В основном задача состоит в определении общих характеристик, таких как количество осей, количество подвижных единиц, их осьность и тип, а в некоторых системах – длины отцепа.

Определение межосевых расстояний подвижной единицы наиболее часто используется в методах идентификации типа подвижной единицы [46, 72, 88]. Такие методы чаще всего реализованы на контрольных участках, включающих в себя три контрольные точки, установленные на рельсе железнодорожного пути на определенном расстоянии друг от друга. Контрольными точками являются точечные путевые датчики, фиксирующие проход колеса подвижной единицы над своим центром. В ряде случаев возможно объединение нескольких точечных путевых датчиков в одной контрольной точке. По мере продвижения подвижных единиц по контрольному участку происходит наезд колесных пар на контрольные точки, по сигналам от которых происходит фиксация временных интервалов. По замеренным временным интервалам вычисляются межосевые расстояния подвижной единицы, которые определяют в дальнейшем ее тип. Однако в таких системах присутствует значимый недостаток: не учитывается ускорение движения и погрешность работы датчика, которые существенно влияют на результат идентификации.

Основываясь на анализе межосевых расстояний подвижных единиц, используемых на железных дорогах нашей страны, можно сделать вывод о том, что наиболее характеризующим параметром подвижных единиц является расстояние между внутренними осями $L_{вн.}$ (см. рис. 2.1). Это расстояние реже повторяется для всех подвижных единиц разных типов, в отличие от расстояния между осями в тележке $L_{ось}$ и расстояния от головки автосцепки до крайней оси $L_{сц}$. Поэтому при идентификации подвижной

единицы необходимо как можно точнее определить расстояние между внутренними осями подвижной единицы и на основании его сделать вывод о типе подвижной единицы. Однако, в ряде случаев, $L_{вн}$ подвижных единиц разных типов имеют одинаковые значения, либо их разность очень мала (20–30 мм). Поэтому необходимо тщательно изучить возможные погрешности определения межосевых расстояний и их причины.

Цель данной работы заключается в разработке метода, с помощью которой было бы возможно оценить ошибку определения межосевых расстояний подвижных единиц для используемых средств железнодорожной автоматики и конструкции контрольного участка. В качестве средства достижения поставленной цели было выбрано имитационное моделирование. Имитационная модель процесса идентификации должна позволить оценить характеристики ошибки определения межосевых расстояний и в дальнейшем внести ряд предложений по повышению достоверности получаемых результатов идентификации подвижных единиц.

3.2. Имитационное моделирование процесса определения ошибки идентификации подвижных единиц

Было высказано предположение, что на ошибку идентификации наиболее существенно влияют следующие факторы:

- начальная скорость наезда колесной пары на измерительный участок, а именно на первую контрольную точку КТ1 (V_1);
- ускорение движения на измерительном участке (a);
- расстояние между датчиками (L);
- величина измеряемого межосевого расстояния (S);
- точность работы точечных путевых датчиков (среднее квадратическое отклонение расстояния фиксации колеса подвижной единицы от центра датчика, распределенное по нормальному закону распределения – σ_d [56]).

На рисунке 3.1 представлена схема участка идентификации, на которой отображены все используемые в имитационной модели статические характеристики, как самого участка с колесной парой, так и датчика. Величина Δl соответствует зоне срабатывания датчика, а величина δ – абсолютному значению ошибки датчика. Остальные обозначения соответствуют вышеописанным факторам, влияющим на процесс идентификации.

При моделировании, движение подвижной единицы, на контрольном участке, принималось как равноускоренное и описывалось общеизвестными уравнениями движения материальной точки. Значения ускорения выбирались отрицательными, нулевыми и положительными. В

случае отрицательных ускорений предусматривалась возможная остановка подвижной единицы на контрольном участке.

Алгоритм, отображающий работу имитационной модели, представлен в виде блок–схемы на рисунке 3.2.

При имитации процесса идентификации три из входных величин фиксируются, а две меняются в заданном диапазоне с заданным шагом моделирования. Варьируемые величины представлены в алгоритме переменными $P1$ и $P2$, а начальное, конечное значения и шаг изменения этих переменных как $P1_{нач}$, $P1_{кон}$, $\Delta P1$ и $P2_{нач}$, $P2_{кон}$, $\Delta P2$ соответственно. Выбор варьируемых величин и их значений, выполняется в начале процесса моделирования. Остальные величины оставались постоянными на всем этапе моделирования.

Погрешность фиксации колеса (δ_i) задавалась генератором случайных величин, распределенных по нормальному закону с заданным значением σ_d и нулевым математическим ожиданием.

По полученным значениям временных интервалов t_{12} и t_{23} , между наездом колеса на первую и вторую, а также вторую и третью контрольные точки соответственно, вычислялись начальная скорость и ускорение по формулам

$$(3.1) \quad \dots .3, \dots$$

$$(3.2) \quad \dots .3 \dots$$

Формулы 3.1, 3.2 были получены из системы уравнений:

$$(3.3) \quad \left\{ \begin{array}{l} \dots , \dots .3 \\ \dots , \dots .3 \\ \dots \end{array} \right.$$

.3

Согласно, вычисленным значениям V'_1 и a' , а также полученного значения t_1 , времени между наездом на первую контрольную точку смежных колес подвижной единицы, вычислялось межосевое расстояние по формуле

$$(3.4) \quad \dots \quad .3 \quad \dots$$

Ошибка определения межосевого расстояния определялась как разность между истинным (заданным S) и полученным межосевым расстоянием (S'):

$$(3.5) \quad \dots \quad .3 \quad \dots$$

Среднее квадратическое отклонение ошибки определения межосевого расстояния вычислялось по формуле [121, 122]:

$$(3.6) \quad \dots \quad .3 \quad \dots$$

Количество экспериментов N равнялось 1000.

Для проверки адекватности имитационной модели был проведен аналитический расчет погрешности идентификации. Начальная скорость и ускорение вычислялись по следующим формулам:

,

.3

$$(3.7)$$

$$(3.8) \quad \dots$$

где $\dots$;

Значения L_1, L_2 – расстояния между точками срабатывания датчиков, обусловленные погрешностью фиксации колеса подвижной единицы над центром датчиков ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$). Знак δ_i в этих точках обусловлен точкой срабатывания датчика относительно его центра (слева – «-», справа – «+»). Это обусловлено следующим: при генерации значений с нулевым математическим ожиданием возможно получение как положительных, так и отрицательных элементов.

Для определения межосевого расстояния подвижной единицы воспользуемся формулой (3.4), при этом подставив в нее значения из формул (3.7), (3.8):

$$(3.9) \quad \dots$$

где $\dots$;

Однако в формуле (3.9) учитывается погрешность определения скорости и ускорения и не учитывает погрешность срабатывания первого датчика при наезде на него второго, смежного колеса подвижной единицы. Поэтому межосевое расстояние будем определять с учетом погрешности первого датчика на втором колесе (δ_4):

$$(3.10) \quad \dots$$

С учетом одинаковых характеристик датчиков и общего закона распределения ошибки фиксации колеса примем:

$$\sigma_3$$

$$\sigma_3$$

При этом ошибка определения межосевого расстояния будет вычисляться по формуле

$$\sigma_3$$

$$(3.11)$$

На основании закона о нормальном распределении, ошибка определения межосевого расстояния описывается следующими параметрами (математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение) [121, 122]:

$$\sigma_3$$

$$(3.12)$$

$$\sigma_3$$

$$(3.13)$$

(3.14)

С помощью разработанной имитационной модели и полученной аналитически формулы определения среднего квадратического отклонения ошибки определения межосевого расстояния, был проведен ряд экспериментов. Начальными данными являлись пять вышеописанных величин. При этом ускорение выбиралось из диапазона $0,1 - 0,6 \text{ м/с}^2$ с шагом $0,1 \text{ м/с}^2$; начальная скорость $1 - 15 \text{ м/с}$ с шагом 1 м/с ; расстояние между датчиками 3 м и 6 м ; межосевое расстояние $2 - 10 \text{ м}$ с шагом 1 м ; среднее квадратическое отклонение расстояния фиксации колеса подвижной единицы от центра датчика $5 - 20 \text{ мм}$ с шагом 5 мм . В результате проведенных экспериментов были получены данные о среднем квадратическом отклонении ошибки определения межосевого расстояния с использованием имитационной модели и аналитических вычислений. Анализ полученных данных подтвердил равнозначность полученных результатов из двух источников: абсолютная погрешность не превышала десятых долей миллиметра (единиц миллиметра при $S > 10 \text{ м}$), а относительная погрешность в среднем не превосходила $1,5 - 1,7 \%$.

На основе полученных результатов можно сделать вывод об адекватности имитационной модели идентификации. В дальнейшем предполагается использование имитационной модели или формулы (3.14) для изучения влияния различных факторов на процесс идентификации подвижного состава.

При разработке имитационной модели все вышеперечисленные величины были приняты как входные параметры моделирования. При имитации, в зависимости от задачи изучения влияния тех или иных факторов на процесс идентификации, производилось варьирование двух величин, три другие были постоянными.

Ошибка идентификации характеризуется в данной модели как среднее квадратическое отклонение разности определенного межосевого расстояния и истинного.

Имитационная модель была написана в среде Turbo Pascal 7.0. и позволяет изменять все выше перечисленные параметры в необходимом диапазоне. С помощью разработанной имитационной модели был проведен ряд экспериментов. При этом ускорение выбиралось из диапазона $0,1 - 0,6 \text{ м/с}^2$ с шагом $0,1 \text{ м/с}^2$; начальная скорость $1 - 20 \text{ м/с}$ с шагом 1 м/с ; расстояние между датчиками $1 - 6 \text{ м}$ с шагом 1 м ; межосевое

Рисунок 3.4 – График зависимости $\sigma_{\Delta S}$ от σ_{∂} при варьирование a

расстояние 1,5 – 18,5 м с шагом 1 м; среднее квадратическое отклонение расстояния фиксации колеса подвижной единицы от центра датчика 1 – 10 мм с шагом 1 мм. Точность работы ТПД характеризовалась математическим ожиданием (которое для всех трех датчиков принималась равным нулю) и средним квадратическим отклонением ошибки фиксации колеса в зоне действия датчика. При этом принималось, что отклонение точки фиксации колеса датчиком подчиняется нормальному закону [56].

Результаты проведенных исследований представлены в виде графиков, отображающих зависимость среднего квадратического отклонения ошибки определения межосевого расстояния ($\sigma_{\Delta S}$) от варьируемых параметров идентификации. При выполнении моделирования каждая точка графиков получена в результате 1000 замеров. На основании этого была подтверждена гипотеза о нормальном распределении ошибки определения межосевого расстояния.

На рисунках 3.3 – 3.4 представлены примеры графиков (остальные графики представлены в приложении Г) зависимости ошибки измерения межосевого расстояния от параметров моделирования при следующих начальных условиях:

– $a=0,2 \text{ м/с}^2$, $V=5 \text{ м/с}$, $L=3 \text{ м}$, $S=1,5\text{--}18,5 \text{ м}$ с шагом 1 м, $\sigma_{\partial}=0,001\text{--}0,01 \text{ м}$ с шагом 0,001 м (рис. 3.3). При увеличении величины L до 6 м получаются аналогичные графики, погрешность в этом случае не превосходит 0,045 м в отличие от 0,29 м для приведенных графиков;

- $a=0,1-0,6$ м/с² с шагом 0,1 м/с², $V=3$ м/с, $L=3$ м, $S=15$ м (верхний пучок графиков) и $S=1,5$ м (нижний пучок графиков), $\sigma_d=0,001-0,01$ м с шагом 0,001 м (рис. 3.4);
- $a=0,2$ м/с², $V=3$ м/с, $L=1-6$ м с шагом 1 м, $S=15$ м (верхние пять графиков с маркером 'х', функция при $L=1$ м не отображается по причине масштабирования) и $S=1,5$ м (нижние шесть графиков, визуально слитые в единое целое), $\sigma_d=0,001-0,01$ м с шагом 0,001 м (рис. Г.3);
- $a=0,2$ м/с², $V=20$ м/с, $L=1-6$ м с шагом 1 м (крайний правый график для $L=6$ м, левый для $L=1$ м), $S=1,5-18,5$ м с шагом 1 м, $\sigma_d=0,003$ м (рис. Г.4). Изменение начальной скорости с 20 на 2 м/с практически не повлияло на конечный результат;
- $a=0,2$ м/с², $V=1-20$ м/с с шагом 1 м/с, $L=6$ м, $S=1,5$ м, $\sigma_d=0,001-0,01$ м с шагом 0,001 м (рис. Г.5). При увеличении S до 15 м погрешность $\sigma_{\Delta S}$ увеличивается в среднем на 0,005 м для каждого из графиков, за исключением малых скоростей (1–4 м/с);
- $a=0,1-0,6$ м/с² с шагом 0,1 м/с², $V=3$ м/с, $L=3$ м (верхний пучок графиков) и $L=6$ м (нижний пучок графиков), $S=1,5-18,5$ м с шагом 1 м, $\sigma_d=0,003$ м (рис. Г.6);
- $a=0,1-0,6$ м/с² с шагом 0,1 м/с², $V=1-20$ м/с с шагом 1 м, $L=6$ м, $S=15$ м (верхние шесть графиков) и $S=1,5$ м (нижние шесть графиков), $\sigma_d=0,003$ м (рис. Г.7).

Анализ полученных графиков позволяет сделать следующие выводы о влиянии параметров моделирования на выходную величину:

- начальная скорость и ускорение движения колесной пары особого влияния, по сравнению с другими факторами, на ошибку определения межосевого расстояния не оказывают. Увеличение ускорения ведет к уменьшению значения погрешности, однако разница для ускорений 0,1 и 0,6 м/с² при прочих равных условий не превосходит изменения погрешности на 0,001–0,003 м. Увеличение скорости входа колесной пары на контрольный участок приводит к увеличению значения погрешности, но это существенно в основном для скоростей до 4–5 м/с. При больших скоростях погрешность практически остается постоянной;
- наибольшее влияние оказывают: длина контрольного участка, среднее квадратическое отклонение ошибки датчика. При этом увеличение расстояния между датчиками уменьшает, а увеличение среднего квадратического отклонения ошибки датчика увеличивает значение ошибки измерения;
- при увеличении замеряемого межосевого расстояния погрешность определения его величины значительно возрастает. Наиболее значимо это для межосевых расстояний от 5–6 м и более.

Оказывать влияние на измеряемую величину межосевого расстояния невозможно. Поэтому для получения наиболее точного результата определения межосевого расстояния необходимо подбирать

точечные путевые датчики и длину контрольного участка с учетом возможно допустимой ошибки определения межосевых расстояний.

Согласно задаче определения межосевых расстояний, выбор датчика должен определяться следующими условиями:

- длина зоны действия датчика должна быть как можно меньше;
- разброс точки срабатывания датчика в идеале, должен стремиться к нулю;
- датчик должен стабильно реагировать на колесо подвижной единицы как на больших скоростях движения, так и на малых.

Выбор длины контрольного участка определяется следующими факторами:

- конструктивными особенностями железнодорожного полотна, где планируется размещение контрольного участка;
- необходимой точностью определения межосевых расстояний;
- погрешностью срабатывания ТПД.

Исходя из выше приведенных предположений, можно сделать следующий вывод: на качество идентификации наиболее сильное влияние оказывают характеристики контрольного участка и средства железнодорожной автоматики, которыми оснащен контрольный участок, а также непосредственно геометрические размеры подвижной единицы.

Проведя анализ межосевых расстояний подвижных единиц, используемых на железных дорогах нашей страны, было сделано следующее заключение: вагоны разных типов имеют одинаковые межосевые расстояния или различаются на небольшую величину (6–20 мм). Поэтому при идентификации подвижных единиц возможен вариант с разделением всех подвижных единиц на группы. При делении на группы учитывается необходимая точность определения межосевых расстояний. Под межосевым расстоянием, в данном способе деления на подгруппы, принимаем расстояние между внутренними осями подвижной единицы, как наиболее характеризующее ее параметр (остальные расстояния могут использоваться как вспомогательные). Так, при точности определения межосевых расстояний, равной 50 мм, получаются две группы из трех типов подвижных единиц, четыре из двух, а все остальные группы содержат по одной подвижной единице. То есть, в этом случае происходит идентификация подвижной единицы с точностью до определения группы, в которую она входит. При этом в диапазоне межосевых расстояний от 5,4 м до 6 м находится три группы, от 7,4 м до 7,9 м две и от 11,5 м до 11,55 м одна.

3.3 Использование метода планирования эксперимента для оценки точности идентификации подвижных единиц

Полученные с использованием имитационной модели результаты дают возможность количественно и качественно проанализировать возможные погрешности идентификации подвижных единиц, а также их зависимость от ряда факторов влияющих на процесс идентификации. Однако данное исследование не позволяет в конечном итоге однозначно вычислить предположительную ошибку идентификации. Для полного завершения поставленной задачи был выбран метод планирования эксперимента. При помощи данного метода необходимо определить формулу, используя которую возможно однозначно определить ожидаемую ошибку для выбранного контрольного участка, средств железнодорожной автоматики и идентифицируемого подвижного состава.

Все последующие вычисления в этой главе были проведены согласно описанию метода планирования эксперимента представленного в работе [123, 124].

Объектом исследования был выбран контрольный участок, на котором непосредственно происходило определение межосевых расстояний движущихся подвижных единиц. В качестве воздействий на процесс идентификации были выбраны факторы, влияющие на этот процесс и описанные в предыдущей главе, а именно:

- начальная скорость наезда колесной пары на измерительный участок, а именно на первую контрольную точку КТ1 (V_1);
- ускорение движения на измерительном участке (a);
- расстояние между датчиками (L);
- величина измеряемого межосевого расстояния (S);
- точность работы точечных путевых датчиков (σ_d).

Под откликом в нашем случае следует принимать значение среднего квадратического отклонения ошибки определения межосевого расстояния $\sigma_{\Delta s}$.

В результате выбранный объект исследования описывается пятью воздействиями и одним откликом, изучение которого и является нашей задачей. Полученная модель эксперимента соответствует многофакторному эксперименту с одним откликом.

В первоначальный эксперимент входило пять факторов. При этом использовался план ПФЭ 2^5 (пятифакторный двухуровневый полнофакторный эксперимент). В качестве уровней принимались следующие значения факторов:

- начальная скорость V_1 – 3 и 15;
- ускорение a – 0.1 и 0.5;
- расстояние между датчиками L – 3 и 6;
- величина измеряемого межосевого расстояния S – 2 и 14;
- точность работы точечных путевых датчиков σ_d – 0.002 и 0.01.

В результате обработки проведенных экспериментов были получены следующие результаты:

- при вышеописанных уровнях факторов моделирования модель не отвечала требованиям однородности и адекватности;
- достигнуть однородности и адекватности модели возможно только при уменьшении интервалов варьирования уровней факторов, что в свою очередь является неприемлемым для описания данного процесса идентификации;
- как и при анализе результатов моделирования, так и при обработке результатов применения метода планирования эксперимента, значения скорости и ускорения не являлись значимыми по сравнению с другими факторами.

Проанализировав результаты предыдущего эксперимента, было принято решение о проведении трехфакторного многоуровневого эксперимента. В качестве факторов были выбраны следующие независимые переменные:

- расстояние между датчиками L ;
- величина измеряемого межосевого расстояния S ;
- точность работы точечных путевых датчиков σ_d .

Варьирование факторов было принято следующим: расстояние между датчиками варьировалось на двух уровнях (диапазон 3–6 м), значения уровней – 3 и 6; точность работы датчика на трех уровнях (диапазон 0,001–0,008 м), значения уровней 0,002, 0,004 и 0,006; межосевое расстояние на четырех уровнях (диапазон 1,5–15 м), значения уровней 2, 5, 8 и 11.

Целью исследования является, как это отмечалось выше, получение аналитической зависимости среднего квадратического отклонения ошибки определения межосевого расстояния $\sigma_{\Delta S}$ как функции трех переменных – L , S и σ_d . Предварительный анализ показал, что данную зависимость нельзя описать ни линейной, ни квадратической зависимостью. Для определения искомой зависимости был принят аппарат ортогональных полиномов и планирования многоуровневых экспериментов.

Опорные точки, используемые при построении системы ортогональных полиномов, будем варьировать с постоянным шагом, поэтому полиномы можно получить по рекуррентной формуле [123]:

.3

$$, \quad (3.15)$$

где X – некоторая физическая независимая переменная или фактор;

N – число опытных точек;

r – степень соответствующего полинома, $r = -1, 0, 1, \dots, N-1$.

В нашем случае максимальная степень используемых полиномов равна 3. Поэтому полиномы будем вычислять по следующим формулам:

$$(3.16) \quad \dots, \quad .3$$

$$(3.17) \quad \dots, \quad .3$$

.3

$$\dots, \quad (3.18)$$

.3

$$\dots, \quad (3.19)$$

где .3 – множители, которые зависят от числа уровней варьирования N и степени полинома r ;

.3 – среднее значение фактора;

.3 – шаг варьирования.

Для более компактной формы записи ортогональных полиномов необходимо осуществить переход от физических к кодированным переменным по формуле:

.3 при N – нечетное число;

$$(3.20) \quad \dots \quad \text{при } N - \text{четное число},$$

В результате значения полиномов для каждой из переменных будут следующими:

– переменная L варьируется на двух уровнях, ей будет соответствовать один полином первой степени:

$$\dots \quad \{-1, 1\}; \quad (3.21)$$

– переменная σ_d , варьируется на трех уровнях, ей будет соответствовать полиномы первой и второй степени:

$$\dots \quad \{-1, 0, 1\}, \quad \dots; \quad (3.22)$$

– переменная S , варьируется на четырех уровнях, ей будет соответствовать полиномы первой, второй и третьей степени:

$$\dots \quad \{-3, -1, 1, 3\},$$

.3 ,

.3

$$\cdot \quad (3.23)$$

Кроме перечисленных полиномов в модель будут входить парные и тройные произведения полиномов разных переменных. При этом для простоты обозначения полиномов применим символику, полученную следующим образом: $P_i(x_i)=P_{ri}$. План эксперимента включает в себя 24 опорные точки, а следовательно и такое же количество коэффициентов. Номера опытных точек u , план и результаты полученных откликов представлены в таблице 3.1 (графы 1–22). Всего для каждого из наборов проводилось 5 параллельных опытов.

Далее были вычислены построчные средние .3 и дисперсия по формулам (табл. 3.1 графы 23 и 24)

$$\cdot \quad (3.24)$$

$$\cdot \quad (3.25)$$

где n – количество параллельных опытов;

.3 – значение i -го отклика для u -го набора.

Для проверки однородности построчных дисперсий был выбран критерий Кохрена. Согласно этого критерия, для уровня значимости $\alpha=0.05$, из распределения Кохрена был получен коэффициент $G_{кр}=0,192$ (для $n=5$ и $N=24$). Критерий Кохрена для проводимых экспериментов был получен по формуле

[illegible]

на бо ра, u	P ₀	P ₁₁ =x ₁	P ₁₂ =x ₂	P ₁₃ =x ₃	P ₂₃	P ₃₃	P ₁₁ P ₁₂	P ₁₁ P ₁₃	P ₁₁ P ₂₃	P ₁₁ P ₃₃	P ₁₂ P ₁₃	P ₁₂ P ₂₃	P ₁₂ P ₃₃	P ₁₁ P ₁₂ P ₁₃	P ₁₁ P ₁₂ P ₂₃	P ₁₁ P ₁₂ P ₃₃	y _{u1}	y _{u2}	y _{u3}	y _{u4}	y _{u5}	y _{cp}	Su^2	Y	y _{cp} -Y	(y _{cp} -Y) ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	1	-1	-1	-3	1	-1	1	3	-1	1	3	-1	1	-3	1	-1	0,0030	0,0028	0,0027	0,0030	0,0023	0,0028	8,30E-08	0,0028	-4,00E-05	1,60E-09
2	1	1	-1	-3	1	-1	-1	-3	1	-1	3	-1	1	3	-1	1	0,0027	0,0024	0,0025	0,0026	0,0027	0,0026	1,70E-08	0,0025	8,00E-05	6,40E-09
3	1	-1	0	-3	1	-1	0	3	-1	1	0	0	0	0	0	0	0,0055	0,0055	0,0054	0,0060	0,0050	0,0055	1,27E-07	0,0055	-2,00E-05	4,00E-10
4	1	1	0	-3	1	-1	0	-3	1	-1	0	0	0	0	0	0	0,0050	0,0055	0,0048	0,0054	0,0037	0,0049	5,17E-07	0,0051	-2,20E-04	4,84E-08
5	1	-1	1	-3	1	-1	-1	3	-1	1	-3	1	-1	3	-1	1	0,0082	0,0084	0,0083	0,0081	0,0080	0,0082	2,50E-08	0,0082	0,00E+00	0,00E+00
6	1	1	1	-3	1	-1	1	-3	1	-1	-3	1	-1	-3	1	-1	0,0072	0,0075	0,0085	0,0068	0,0082	0,0076	4,93E-07	0,0076	4,00E-05	1,60E-09
7	1	-1	-1	-1	-1	3	1	1	1	-3	1	1	-3	-1	-1	3	0,0022	0,0028	0,0023	0,0024	0,0028	0,0025	8,00E-08	0,0025	0,00E+00	0,00E+00
8	1	1	-1	-1	-1	3	-1	-1	-1	3	1	1	-3	1	1	-3	0,0029	0,0029	0,0027	0,0029	0,0026	0,0028	2,00E-08	0,0030	-2,00E-04	4,00E-08
9	1	-1	0	-1	-1	3	0	1	1	-3	0	0	0	0	0	0	0,0048	0,0047	0,0047	0,0048	0,0056	0,0049	1,47E-07	0,0050	-8,00E-05	6,40E-09
10	1	1	0	-1	-1	3	0	-1	-1	3	0	0	0	0	0	0	0,0058	0,0061	0,0058	0,0070	0,0060	0,0061	2,48E-07	0,0059	2,40E-04	5,76E-08
11	1	-1	1	-1	-1	3	-1	1	1	-3	-1	-1	3	1	1	-3	0,0078	0,0068	0,0073	0,0076	0,0081	0,0075	2,47E-07	0,0075	2,00E-05	4,00E-10
12	1	1	1	-1	-1	3	1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	0,0090	0,0086	0,0099	0,0079	0,0084	0,0088	5,63E-07	0,0089	-1,40E-04	1,96E-08
13	1	-1	-1	1	-1	-3	1	-1	1	3	-1	1	3	1	-1	-3	0,0055	0,0060	0,0063	0,0060	0,0060	0,0060	8,30E-08	0,0061	-1,40E-04	1,96E-08
14	1	1	-1	1	-1	-3	-1	1	-1	-3	-1	1	3	-1	1	3	0,0025	0,0029	0,0030	0,0031	0,0027	0,0028	5,80E-08	0,0028	4,00E-05	1,60E-09
15	1	-1	0	1	-1	-3	0	-1	1	3	0	0	0	0	0	0	0,0125	0,0115	0,0115	0,0118	0,0121	0,0119	1,82E-07	0,0117	1,80E-04	3,24E-08
16	1	1	0	1	-1	-3	0	1	-1	-3	0	0	0	0	0	0	0,0049	0,0054	0,0051	0,0059	0,0057	0,0054	1,70E-07	0,0055	-1,00E-04	1,00E-08
17	1	-1	1	1	-1	-3	-1	-1	1	3	1	-1	-3	-1	1	3	0,0165	0,0172	0,0180	0,0175	0,0166	0,0172	3,93E-07	0,0173	-1,40E-04	1,96E-08
18	1	1	1	1	-1	-3	1	1	-1	-3	1	-1	-3	1	-1	-3	0,0078	0,0079	0,0086	0,0078	0,0088	0,0082	2,32E-07	0,0081	8,00E-05	6,40E-09
19	1	-1	-1	3	1	1	1	-3	-1	-1	-3	-1	-1	3	1	1	0,0164	0,0149	0,0157	0,0169	0,0148	0,0157	8,43E-07	0,0154	3,40E-04	1,16E-07
20	1	1	-1	3	1	1	-1	3	1	1	-3	-1	-1	-3	-1	-1	0,0024	0,0029	0,0024	0,0024	0,0025	0,0025	4,70E-08	0,0027	-1,80E-04	3,24E-08
21	1	-1	0	3	1	1	0	-3	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0,0333	0,0339	0,0323	0,0326	0,0319	0,0328	6,40E-07	0,0335	-7,00E-04	4,90E-07
22	1	1	0	3	1	1	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0,0053	0,0056	0,0050	0,0060	0,0054	0,0055	1,38E-07	0,0052	2,60E-04	6,76E-08
23	1	-1	1	3	1	1	-1	-3	-1	-1	3	1	1	-3	-1	-1	0,0535	0,0521	0,0516	0,0522	0,0506	0,0520	1,10E-06	0,0517	3,00E-04	9,00E-08
24	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	0,0082	0,0070	0,0075	0,0080	0,0076	0,0077	2,18E-07	0,0078	-1,40E-04	1,96E-08
Σ ²	24	24	16	120	24	120	16	120	24	120	80	16	80	80	16	80										
b _i	0,0096 6	-0,0042 5	0,0049 6	0,0022 7	0,0026 5	0,0002 4	-0,0022 8	-0,0022 7	-0,0029 3	-0,0001 6	0,0012 3	0,0015 2	0,0001 8	-0,0012 4	-0,0016 6	-0,0001 3										

$$(3.26) \quad \dots \quad .3 \quad \dots$$

Значение G_p получилось равным 0,165, что меньше значения $G_{кр}$, а это в свою очередь говорит об однородности оценок построчных дисперсий.

Значения b -коэффициентов были вычислены по формуле

$$(3.27) \quad \dots \quad .3 \quad \dots$$

Полученные значения b -коэффициентов представлены в таблице 3.1. В данной таблице даны столбцы только тех членов модели, b -коэффициенты которых в дальнейшем оказались статистически значимыми. Статистическая значимость b -коэффициентов проверялась по формуле

.3

$$\dots \quad (3.28)$$

Значение коэффициента $t_{табл}=2.06$ было взято из таблиц распределения Стьюдента по уровню значимости $\alpha=0,05$ числу степеней свободы равном 24.

Следующий шаг заключается в проверке адекватности модели, которая была выполнена по F -критерию. Согласно данному критерию критическое значение $F_{кр}=1,94$, взятое из таблиц F -распределения для

уровня значимости $\alpha=0,05$ и чисел степеней свободы $f_{ad}=8$ и $f_y=96$, должно быть меньше расчетного $F_{расч}$, вычисляемого по формуле

$$(3.29) \quad \dots$$

где $\dots$ – значение отклика в точке;

l – количество значимых b -коэффициентов.

Значение $F_{расч}$ получилось равным 0,49, что меньше $F_{кр}$, а это говорит об адекватности модели.

В результате проведенных экспериментов и обработки полученных данных стало возможным написать адекватное уравнение модели:

$$\dots \quad (3.30)$$

Для получения искомой аналитической зависимости необходимо перейти от кодированных переменных к физическим. Окончательно искомое уравнение примет следующий вид:

$$(3.31) \quad \dots$$

Выводы

Обработка результатов имитационного моделирования процесса определения межосевых расстояний подвижных единиц на измерительном участке позволяет сделать следующие выводы:

– значения скорости и ускорения движения подвижных единиц не имеют существенного значения для процесса идентификации по

сравнению с другими факторами;

- увеличение погрешности работы датчика ведет к увеличению погрешности определения межосевых расстояний;
- с увеличением измеряемого межосевого расстояния увеличивается и значение ошибки идентификации;
- увеличение длины измерительного участка приводит к уменьшению ошибки идентификации.

Применив метод планирования эксперимента, была получена аналитическая зависимость погрешности определения межосевых расстояний как функция от следующих величин:

- расстояния между датчиками L ;
- величины замеряемых межосевых расстояний S ;
- точности работы точечных путевых датчиков σ_d .

Использование результатов проведенных исследований дает возможность оценить допустимую ошибку определения межосевых расстояний на конкретном измерительном участке, оснащенном точечными датчиками с известными характеристиками работы, а также решить обратную задачу: для заданной допустимой ошибки идентификации подобрать характеристики контрольного участка и точечных путевых датчиков, удовлетворяющие заданному качеству идентификации. Данные рекомендации актуальны для построения различных информационных систем, использующих в качестве исходных данных характеристики подвижных единиц, полученные путем измерения на контрольных участках с применением точечных путевых датчиков.

РАЗДЕЛ 4

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ И ПОЕЗДА В ЦЕЛОМ

4.1 Анализ возможных и допустимых ошибок определения межосевых расстояний подвижных единиц

После определения возможных значений ошибки определения межосевых расстояний (см. раздел 3) можно сделать вывод о качестве данной операции и, как результат, выполнить определение типа подвижной единицы. Разумеется, насколько бы не был точен метод определения межосевого расстояния, погрешность всегда будет присутствовать. На значение погрешности влияет множество факторов, например, таких как погрешность работы датчика, расстояние между датчиками, износ колесных пар, влияние колесных пар, порывы ветра и т.д. Задача состоит в сравнении допустимых и возможных значений ошибок. Данные о возможных значениях ошибок определения межосевых расстояний можно получить с использованием имитационной модели, или воспользовавшись формулами (3.14) или (3.31), для выбранного контрольного участка, датчиков и межосевого расстояния (как отмечалось выше, значения скорости и ускорения подвижных единиц можно не учитывать). Данные о допустимых значениях ошибки определения межосевых расстояний были взяты из таблиц 2.1 – 2.3. Данные о возможных значениях ошибок характеризуются средним квадратическим отклонением с нулевым математическим ожиданием. Допустимые значения ошибок представлены в виде разницы межосевых расстояний двух подвижных единиц одинаковой осности и с наиболее близкими значениями. Для выполнения сравнения выполним преобразование допустимых значений ошибок от абсолютных значений к значениям среднего квадратического отклонения, используя для этого правило трех сигм [114]. Алгоритм преобразования состоит из следующих операций:

1. Выбираются два наиболее близкие значения межосевого расстояния подвижных единиц разных типов. При этом отдельно будем рассматривать расстояния между осями в тележке и между внутренними осями подвижных единиц.

2. Определяется абсолютное значение разности данных величин и делится пополам.

3. Полученная разность делится на 3, согласно правилу трех сигм с вероятностью 0,997, принятой за техническую единицу. Полученное значение будем рассматривать как среднее квадратическое отклонение допустимого значения ошибки определения межосевого расстояния.

Рассмотрим вначале значения межосевых расстояний между осями подвижных единиц. Они составляют следующие значения: 1350, 1700, 1750,

1850, 2100 мм. Следовательно, средние квадратические отклонения должны быть равны 58,3, 8,3, 33,3 и 41,7 мм. Согласно данным имитационной модели возможное значение среднего квадратического отклонения для данного межосевого расстояния находится в интервале 5 – 9 мм (для измерительного участка длиной 6 – 12 м и среднего квадратического отклонения работы датчика 3 – 7 мм). Для данных межосевых расстояний такая точность является приемлемой.

При анализе межосевых расстояний между внутренними осями подвижных единиц было отмечено, что разные типы подвижных единиц имеют одинаковые данные величины, либо разность этих величин очень мала, примерно 6 – 20 мм. Определить межосевое расстояние с такой точностью практически невозможно.

Результаты дальнейшего анализа представлены в виде графиков на рисунках 4.1 и 4.2.

На обоих рисунках сплошной линией отображаются средние квадратические отклонения допустимых значений ошибок определения межосевых расстояний. Пунктирными линиями отображаются средние квадратические отклонения возможных значений ошибок. Нижняя пунктирная линия соответствует датчику со средним квадратическим отклонением, равным 3 мм, а верхняя равным 7 мм. График, представленный на рисунке 4.1, отображает возможные значения ошибок для контрольного участка 6м ($L=3$ м), а на рисунке 4.2 контрольный участок равен 12 м ($L=6$ м).

Таким образом, можно сделать следующее заключение: наиболее оптимальное качество идентификации подвижной единицы можно получить только при длине контрольного участка равной не менее 12 м и среднее квадратическое отклонение зоны срабатывания датчика не более 3 мм. Однако в ряде случаев это не является приемлемым как для длины контрольного участка, так и для возможных характеристик датчика. Поэтому необходимо разработать соответствующую методику, которая даст положительный результат при критических значениях исходных данных.

4.2 Определение типа подвижных единиц по межосевому расстоянию

Рисунок 4.2 – График зависимости возможных и допустимых значений ошибок определения межосевых расстояний для контрольного участка 6м

Как отмечалось выше, определение типа подвижной единицы мы будем производить по определенному расстоянию между внутренними осями подвижных единиц. Но в ряде случаев разница между этими расстояниями очень мала, либо вообще равна 0. Поэтому при идентификации подвижных единиц возможен вариант с разделением всех подвижных единиц на группы. При делении на группы учитываются точность определения межосевых расстояний. Так, при точности определения межосевых расстояний равной 50 мм получаются одна группа из трех подвижных единиц, три – из двух, а все остальные группы содержат по одной подвижной единице. То есть, в этом случае происходит идентификация подвижной единицы с точностью до определения группы. Количество групп и их состав может меняться в зависимости от точности идентификации.

Структурная схема участка, предлагаемого метода определения типа подвижных единиц, по средству определения межосевых расстояний, схематически представлена на рисунке 4.3.

Три контрольные точки – КТ1, КТ2 и КТ3, расположены на расстоянии L друг от друга. Таймеры Т12 и Т23 определяют временные интервалы t_{12} и t_{23} между наездом колеса подвижной единицы на контрольные точки КТ1 – КТ2 и КТ2 – КТ3 соответственно. Полученные значения t_{12} и t_{23} необходимы для определения начальной скорости наезда колесной пары на каждую из контрольных точек V_1 , V_2 и V_3 измерительного участка и ускорения движения. Таймеры Т1, Т2 и Т3 определяют временные интервалы t_1 , t_2 и t_3 между наездом смежными колесами колесных пар на контрольные точки КТ1, КТ2 и КТ3. Эти данные необходимы для определения межосевого расстояния между смежными колесными парами. При этом трехкратное определение межосевого расстояния позволяет увеличить точность его измерения. Вычисленное межосевое расстояние будет равно среднему арифметическому трех измерений.

В результате прохождения подвижной единицей контрольного участка вычисляются все ее межосевые расстояния. Для определения типа подвижной единицы или группы, к которой она относится, необходимо решить следующие задачи:

- определить осьность подвижной единицы;
- определить какое из замеренных расстояний является расстоянием между внутренними осями;
- по замеренному и определенному расстоянию между внутренними осями подвижной единицы определить ее тип.

Для решения первых двух задач можно воспользоваться методом определения количества подвижных единиц и их осьности с использованием одной контрольной точки, представленным в разделе 2.

Для определения типа подвижной единицы используем вероятностный подход. В разделе 3 была выведена функциональная зависимость ошибки определения межосевого расстояния от структуры участка, параметров технических средств и объекта идентификации (формула 3.31). Используя данную формулу и применив правило трех сигм, определяем интервал возможных значений измеренной величины. Далее определяем, какие из подвижных единиц попадают в определенный интервал. Для этого необходимо использовать базу данных о подвижных единицах, содержащую их межосевые расстояния. Ошибка определения межосевых расстояний подчиняется нормальному закону распределения: с плотностью вероятности

.3

(4.1)

где S – межосевое расстояние подвижной единицы;

$\sigma_{\Delta S}$ – среднее квадратическое отклонение ошибки определения межосевого расстояния.

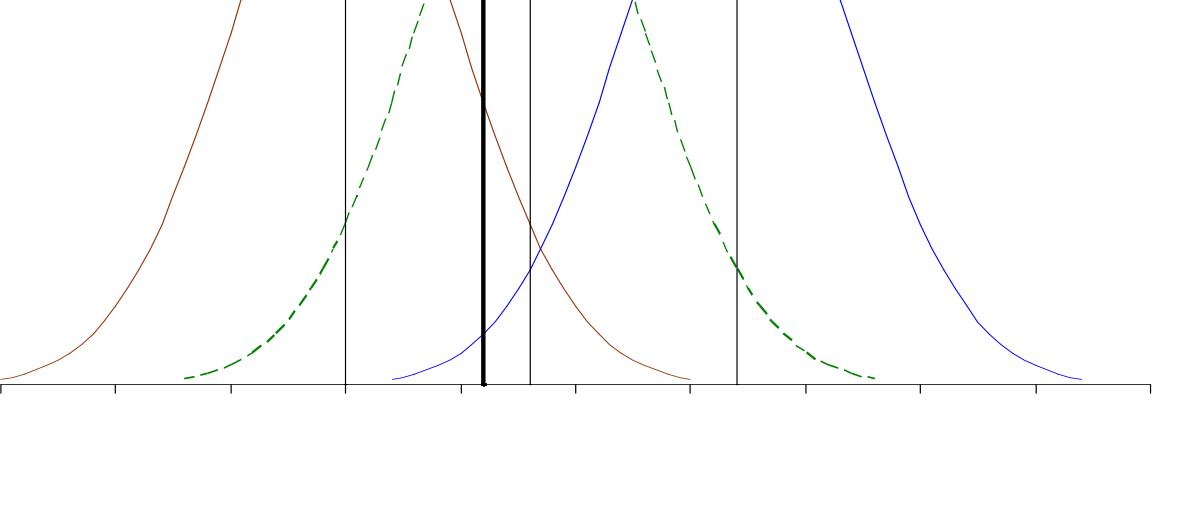
Поэтому в качестве идентифицируемой подвижной единицы может быть любая, для которой верно неравенство

.3

(4.2)

где S – расстояние между внутренними осями подвижной единицы по каталогу;

S' – замеренное расстояние между внутренними осями подвижной единицы.



На рисунке 4.4 представлен пример определения группы подвижных единиц, удовлетворяющих условиям идентификации.

По результатам определения межосевого расстояния между внутренними осями было получено значение 5910 мм. Ни одному из вагонов в базе данных не соответствует данное значение. Согласно правилу трех сигм определяем интервал допустимых значений, где значение сигмы вычислялось по формуле (3.31). В данный интервал попадают 3 типа вагонов: вагон А, вагон Б, вагон В с расстояниями между внутренними осями 5850мм, 5930мм, 6020мм соответственно. Согласно плотности вероятности ошибки определения межосевого расстояния для каждого из вагонов, наибольшую вероятность имеет вагон Б, наименьшую вагон А. Однако сделать вывод о том, что идентифицируемым вагоном является вагон Б было бы ошибочно. Вполне возможно, что при идентификации данного вагона ошибка датчика имела свое предельное значение, и идентификации подвергался вагон А или вагон В.

Результатом идентификации, с использованием данного метода, является точное определение типа подвижной единицы или ограниченной группы, к которой она относится.

4.3 Выбор точечных путевых датчиков для участка идентификации подвижных единиц

Выбор точечного путевого датчика для его использования на контрольном участке идентификации подвижных единиц имеет главное значение, которое в последствии значительно влияет на качество идентификации.

Основные требования, предъявляемые к датчику, следующие:

- точность фиксации колеса подвижной единицы;
- правильность работы при любых скоростях движения подвижных единиц;
- низкая вероятность сбоев.

Изучив ряд точечных путевых датчиков, используемых на железных дорогах нашей страны, согласно вышеописанным параметрам были выбраны следующие датчики: ДЕ–96 отечественного производства и ДПД–01 производства России.

Датчики электронные фиксации прохода колесных пар ДЕ–96 предназначены для формирования импульса электрического тока в момент фиксации прохода колеса подвижной единицы.

Принцип действия датчиков ДЕ–96 основан на изменении электрических параметров контура L, C при попадании в зону действия реборды колеса. Микроконтроллер МС контролирует частоту и напряжение

Рисунок 4.5 – Структурная схема датчика ДЕ–96

колебаний контура LC так, что при попадании в зону действия реборды колеса формирует выходной сигнал тока в цепи питания датчика (рис. 4.5). При обрыве или коротком замыкании в цепи L (отсутствуют колебания) контроллер формирует импульсы с периодом около 2,5 с, плотностью 2.

Основные характеристики датчика ДЕ–96:

- температура окружающего воздуха от -40 до $+60$ °С;
- относительная влажность воздуха до 100 %;
- атмосферное давление от 66 до 106,7 кПа (495–800 мм рт ст);
- номинальное напряжение питания датчиков (12 ± 1) В;
- выходной сигнал датчика в режиме ожидания $(3,5 \pm 1)$ мА;
- выходной сигнал датчика фиксации колеса подвижной единицы (20 ± 5) мА;
- габаритные размеры датчика (без кронштейна), не более 80x58x25мм;
- масса датчика (без кронштейна и крепежных элементов) не более 0,15 кг.

Устройство, принцип действия и характеристики датчика ДПД–01 описаны ниже.

Чувствительными элементами датчика являются две катушки, намотанные на ферритовых стержнях-сердечниках. На каждой из катушек собран резонансный контур. Контуров запитываются от встроенного генератора переменного напряжения частотой 30-40 кГц. Выходы контуров подключены к входам амплитудных детекторов, выходы которых дифференциально включены на вход суммирующего усилителя.

Выход усилителя является выходным сигналом датчика.

При установке датчика на рельс чувствительные элементы датчика – катушки располагаются вдоль рельса. При отсутствии колеса в зоне чувствительности датчика напряжения на контурах равны, и выходное напряжение на выходе суммирующего усилителя равно нулю. При входе колеса в зону действия датчика оно приближается к первой по ходу поезда катушке датчика, электромагнитное поле которой индуцирует в

металлической массе колеса вихревые токи, вызывающие уменьшение эквивалентного сопротивления контура первой катушки и соответственно уменьшение напряжения на выходе суммирующего усилителя. По мере перемещения колеса относительно датчика это напряжение уменьшается, достигает минимума и увеличивается до нуля в момент, когда ось колеса находится над серединой датчика. В этот момент колесо располагается симметрично относительно двух катушек датчика и эквивалентные сопротивления их контуров равны. При дальнейшем перемещении колеса оно удаляется от первой катушки и приближается ко второй, что приводит к изменению полярности напряжения на выходе суммирующего усилителя, которое достигает максимума, когда ось колеса находится над второй катушкой, и становится равным нулю, когда колесо выходит из зоны действия датчика. Таким образом, датчик ДПД-01 реагирует на прохождение колеса импульсом, состоящим из двух полувольт – отрицательной и положительной полярности. Момент перехода от отрицательной полувольты к положительной соответствует прохождению оси колеса над серединой датчика. Выходное напряжение датчика не зависит от скорости поезда, а определяется только положением колеса относительно датчика и высотой его реборды.

Дифференциальное включение чувствительных элементов датчика защищает датчик от влияния внешних электромагнитных полей, в том числе от полей, создаваемых тяговыми токами.

Основные характеристики датчика ДПД-01:

- рабочий диапазон скоростей прохода поезда от 0 до 300 км/ч;
- длина зоны действия колеса относительно оси датчика $\pm 20\text{--}25$ см
- ;
- напряжение питания $+12 \pm 0,36$ В;
- максимальный ток потребления не более 20 мА;
- сопротивление нагрузки не менее 20 кОм;
- мощность потребления не более 0,5 Вт;
- глубина установки от головки рельса 45 ± 2 мм;
- установка от боковой стенки головки рельса 6 ± 1 мм;
- выход датчика – трехпроводный кабель длиной 2м;
- диапазон рабочих температур от -40 до $+60^\circ\text{C}$.

4.4 Вероятностный метод идентификации поезда с использованием ТГНЛ

Задача идентификации поезда актуальна во многих информационных системах, отображающих состояния технологических процессов на железной дороге. Одной из них является задача определения поезда, прошедшего контрольный участок, при некотором наборе возможных вариантов поездов. На практике: имеется несколько поездов, которые находятся на подходе к сортировочной станции; необходимо определить какой именно из них

прошел контрольный участок. Информация о каждом поезде представлена в виде телеграммы натурального листа поезда (ТГНЛ) с указанием всех вагонов, входящих в его состав, и их номеров. На основании набора ТГНЛ поездов и идентифицированных параметров поезда необходимо определить соответствие данного поезда и его ТГНЛ. Решение данной задачи выполнено на основании исследованной погрешности идентификации подвижных единиц и разработанных методов идентификации.

Решение данной задачи возможно несколькими способами, а именно:

- по подсчитанному количеству осей в поезде;
- по определенному количеству вагонов и их осности;
- по выявленным «опорным» вагонам;
- по рассчитанным межосевым расстояниям как средство

определения типа вагонов.

При использовании первого и второго из этих способов необходим контрольный участок с одним точечным путевым датчиком, для третьего и четвертого способов – три.

Идентификация поезда с использованием первых трех способов является наиболее простой и более надежной, с точки зрения вероятности правильной идентификации данных параметров поезда, проходящего контрольный участок. Но при этом результаты идентификации поезда менее информативны, так как идентифицируемые параметры часто подходят к разным поездам. Под понятием «опорный» вагон в данном случае необходимо понимать вагон с определенным местом расположения в составе поезда и однозначно идентифицированным. Такой вагон должен быть только в идентифицируемом поезде, например транспортер. Идентификация по последнему способу имеет вероятностный характер, который зависит от точности расчета межосевых расстояний и правильности определения типа вагонов. Данный способ является наиболее информативным, позволяющим определить до 4 цифр номера каждого вагона в поезде. Поэтому именно алгоритм этого способа идентификации и был выбран в качестве главного.

При идентификации поезда были использованы разработанные методы идентификации, позволяющие определить следующие его характеристики:

- количество вагонов в поезде;
- осность каждого вагона;
- тип каждого вагона;
- длину каждого вагона.

Каждому вагону поезда по определенным характеристикам ставится в соответствие один или несколько вагонов из всего парка грузовых вагонов. Для этого разработана база данных грузовых вагонов парков железных дорог колеи 1520 мм. Структура данной таблицы базы данных приведена в приложении Д и содержит следующие параметры:

- условный код подвижной единицы;
- осность подвижной единицы;

- расстояние от головки автосцепки до крайнего колеса подвижной единицы;
- расстояние между колесами внутри тележки;
- расстояние между внутренними осями подвижной единицы;
- расстояние между крайними колесами подвижной единицы;
- тип подвижной единицы.

Как отмечалось выше, данные характеристики вагонов позволяют определить до 4 цифр номера вагона. Нумерация грузовых вагонов имеет два вида:

- система нумерации инвентарных грузовых вагонов парков железных дорог;
- система нумерации собственных грузовых вагонов парков железных дорог.

В первом случае возможно определение 4 цифр номера, а именно (рис . 4.6):

- 1-я цифра: тип вагона;
- 2-я цифра: осьность вагона;
- возможные варианты 3-й цифры: тип вагона (для вагонов у которых 1-я цифра равна 3 или 9);
- возможные варианты 7-й цифры: длина вагона.

Во втором случае так же возможно определение 4-х цифр вагона, но только 1-ю, 2-ю, 3-ю и 4-ю цифры. При этом первая цифра всегда равна 5. Кодирование 2-й, 3-й и 4-й цифр выполнено некоторым случайным образом, без применения систематизации.

Данные о нумерации грузовых вагонов также были занесены в базу данных. Структура таблицы базы данных приведена в приложении Д и содержит следующие параметры:

- условный код подвижной единицы;
- 1-я цифра номера вагона;
- возможные варианты 2-й цифры;
- возможные варианты 3-й цифры;
- возможные варианты 7(4) –й цифры.

Стоит отметить, имея данные двух вышеописанных таблиц, можно выполнить следующие соответствия:

- для каждого номера вагона определить его характеристики;
- по определенным характеристикам вагона определить набор возможных его номеров.

Обе таблицы связаны между собой условным кодом, который является внутренним для системы идентификации.

Общий алгоритм идентификации поезда в целом состоит из его повагонной идентификации. На основании определенных характеристик вагона формируется набор его возможных номеров. Также формируются возможные номера вагонов для каждого из анализируемых поездов. Далее выполняется сравнение данных ТГНЛ с вагонами каждого из поездов. На

основании проведенного сравнения определяется искомый поезд. В случае, когда в группе поездов находятся два и более одинаковых поезда, по характеристикам вагонов результатом идентификации будет несколько решений.

Описанный метод идентификации поезда приемлем только в случае, когда состав вагонов поезда полностью соответствует данным ТГНЛ. Данные ТГНЛ формируются на поезд при его формировании и отправке с сортировочной станции. При движении поезда к следующей сортировочной станции возможно его изменение по составу вагонов, вызванное выполнением различных технологических операций. Это могут быть операции по добавлению или отцеплению вагона или группы вагонов на промежуточных станциях. При этом возможно, что необходимые корректировки в ТГНЛ будут внесены с опозданием. В результате чего состав вагонов поезда не будет соответствовать первоначальным данным ТГНЛ. Выполнение подобных технологических операций требует корректировки алгоритма идентификации.

Было рассмотрено выполнение следующих операций, изменяющих состав поезда:

- добавление в конец поезда вагона или группы вагонов;
- отцепление с конца поезда вагона или группы вагонов;
- отцепление вагона или группы вагонов внутри поезда;
- изменение последовательности вагонов в поезде (смена «головы»

и «хвоста» местами).

Первые два вида операций вполне могли быть запланированы ранее, третий вид операций связан с возможными техническими неполадками вагонов. В результате подобных изменений состава поезда процесс идентификации необходимо рассматривать как выявление максимально правдоподобного решения из конечного числа возможных. Для этого в алгоритм идентификации поезда вводится коэффициент качества идентификации, согласно которому определяется количество возможных несоответствий состава поезда и данных ТГНЛ.

Окончательный алгоритм идентификации состоит из следующих операций:

- сравнение данных ТГНЛ поездов и данных повагонной идентификации поезда;
- подсчет количества совпадений («попаданий») данных ТГНЛ поездов и данных повагонной идентификации поезда;
- процесс подсчета совпадений выполняется до окончания списка вагонов ТГНЛ или до момента, когда количество несовпадений («промахов») превысит значение коэффициента качества идентификации;
- результатом идентификации будет выбран поезд, имеющий максимальное количество «попаданий».

Расчет показателя совпадений для каждого из поездов выполняется по следующей формуле:

$$(4.1) \quad \dots$$

где Q_j – показатель совпадений для j -го поезда;
 M_j – количество «попаданий» для j -го поезда;
 N – количество идентифицируемых поездов.

На рисунке 4.7 представлена структура контрольного участка идентификации поезда.

Принятые сокращения на рисунке 4.7:

- Д1, Д2, Д3 – точечные путевое датчики;
- П1, П2, П3 – преобразователи сигналов от датчиков;
- РЦ – рельсовая цепь;
- ИЭ – исполнительный элемент.

Алгоритм идентификации поезда представлен на рисунке 4.8.

Описание алгоритма идентификации поезда:

- исходными данными для идентификации поезда являются замеренные интервалы времени между наездом смежных колес подвижных единиц $t_1, t_2, \dots, t_{k-1}$, где k – количество осей поезда (блок 2);
- на основании замеренных временных интервалов вычисляются значения межосевых расстояний (блок 3);
- используя однотоочечный метод идентификации подвижных единиц (см. п. 2.2) выбираются расстояния между внутренними осями подвижных единиц $S'_{вн1}, S'_{вн2}, \dots, S'_{внm}$ и вычисляется их осьность $Os'_1, Os'_2, \dots, Os'_m$, где m – определенное количество подвижных единиц в составе поезда (блок 4);
- для каждого идентифицируемого вагона формируется вектор его возможных номеров $mS_1, mS_2, \dots, mS_m$ (блок 5);
- для каждого j – поезда формируется массив номеров вагонов по данным ТГНЛ $TGNLCar_{j,i}$ и массив количества вагонов в каждом поезде Q_j (блок 6);
- выполняется последовательный перебор и сравнение данных ТГНЛ поездов и данных, полученных в процессе идентификации поезда, где N – количество обрабатываемых поездов (блоки 7 – 17);
- используемые переменные: hit – количество «попаданий», miss – количество «промахов», flag – флаг превышения значения коэффициента качества идентификации, i – индекс вагона в списке ТГНЛ, v – индекс вагона идентифицируемого поезда (блок 8);
- организация проверки вагонов поезда по данным ТГНЛ (блок 9);

–проверка совпадения номера вагона по данным ТГНЛ с возможными вариантами по результатам идентификации (блок 10). В случае совпадения происходит увеличение количества «попаданий» (блок 12). В противном случае, увеличивается количество «промахов» и организация проверки текущего вагона идентифицируемого поезда с последующим номером вагона по данным ТГНЛ (блок 11);

–проверка количества «промахов» со значения коэффициента качества идентификации. При превышении допустимого количества «промахов» происходит переход к анализу следующего поезда (блоки 14, 15, 16);

–по окончанию анализа поезда значение количества «попаданий» заносится в массив М (блок 17);

–расчет показателя совпадения для каждого поезда (блок 18);

–определение поезда с максимальным значением показателя совпадения (блок 19).

В данном алгоритме особое внимание стоит уделить выбору значения показателя качества идентификации, т.к. именно этот показатель влияет на конечный результат идентификации.

Для правильной идентификации поезда данный алгоритм необходимо выполнять дважды для каждой ТГНЛ. В первый раз вагоны анализируются в порядке, который указан в ТГНЛ, во второй раз в обратном порядке. Это необходимо для случая изменения «хвоста» и «головы» поезда.

4.5 Имитационная модель идентификации поезда с использованием ТГНЛ

Для апробации и проверки правильности работы метода идентификации поезда с использованием ТГНЛ было выбрано имитационное моделирование.

Имитационная модель была разработана в среде Borland Delphi 7.0 с использованием СУБД FireBird 1.5.

Разработанная имитационная модель выполняет следующие действия:

- ввод исходных данных моделирования;
- формирование списка поездов;
- ведение базы данных парка грузовых вагонов с их характеристиками и особенности их нумерации;
- отображение промежуточных данных процесса моделирования;
- отображение результатов моделирования.

В качестве входных параметров имитационной модели были выбраны следующие показатели:

- начальная скорость движения поезда, м/с;
- ускорение движения, м/с²;
- расстояние между датчиками, м;

- среднее квадратическое отклонение ошибки датчика, мм;
- список номеров вагонов поезда, подлежащего идентификации;
- количество поездов идентификации;
- коэффициент качества идентификации.

При формировании списка поездов предоставляется возможность выполнения операций удаления, добавления, а также корректировки номеров вагонов. Структура таблиц базы данных списка поездов представлена в приложении Д.

Имитационная модель позволяет изменять количество типов подвижных единиц и их характеристики, а также изменять порядок нумерации вагонов.

В качестве промежуточных данных представлены следующие величины:

- значения межосевых расстояний поезда;
- значения определенных межосевых расстояний поезда;
- значения ошибки определения межосевых расстояний поезда;
- время наезда каждого колеса поезда на каждый из трех датчиков;
- интервалы времени между наездом каждой пары смежных колес поезда на каждый из трех датчиков.

Результаты моделирования состоят из следующих данных:

- определенные значения расстояния между внутренними осями каждого вагона и его осьность на каждом датчике;
- массивы возможных номеров каждого вагона идентифицируемого поезда;
- показатель совпадений для каждого из рассматриваемых поездов;
- конечный результат – определенный поезд.

Алгоритм функционирования имитационной модели процесса идентификации представлен на рисунке 4.9.

Описание алгоритма имитационной модели идентификации поезда:

- ввод исходных данных и запуск процесса моделирования (блок 2);
- формирование массива отклонений фиксации колес поезда для каждого из трех датчиков (блок 3);
- формирование массива межосевых расстояний поезда с учетом погрешностей фиксации колес датчиками (блок 4);
- вычисление временных интервалов между наездами колес поезда на каждый из трех датчиков (блок 5);
- запуск алгоритма идентификации подвижных единиц поезда (блок 6);
- формирование промежуточных и конечных результатов моделирования (блок 7).

Экспериментов идентификации поезда проводились на имитационной модели, при следующих начальных условиях:

- начальная скорость изменялась в пределах от 10 до 20 м/с с шагом 1 м/с;

- ускорение изменялось в пределах от 0,01 до 0.05м/с² с шагом 0.01 м/с²;
 - расстояние между датчиками принималось равным 3 м и 6 м;
 - погрешность датчика (среднее квадратическое отклонение ошибки фиксации колеса) изменялась в пределах от 5 мм до 20 мм с шагом 1 мм;
 - количество поездов идентификации 7, 10 и 15;
 - коэффициент качества идентификации принимал значения 3 и 5.
- Для каждого из набора данных проводилось 50 испытаний.
Испытания проводились в двух режимах:
- полное соответствие между идентифицируемым поездом и его ТГНЛ ;
 - измененный состав идентифицируемого поезда (отцепление, прицеп вагонов).

Поезд, подлежащий идентификации, выбирался вручную или автоматически из списка поездов по закону равномерного распределения. Группа поездов формировалась автоматически по закону равномерного распределения без повторений одного и того же поезда в группе.

Полный список поездов содержит 61 поезд. В качестве объектов идентификации были собраны ТГНЛ поездов со станции Запорожье-Левое за двое суток.

Все эксперименты показали успешную идентификацию выбранного поезда.

На рисунках 4.10, 4.11 представлены видеограммы форм промежуточных и окончательных результатов имитационной модели.

Рисунок 4.11. Видеограмма конечных результатов моделирования

Исходные данные			Промежуточные данные	Результаты моделирования
Свнд1 мм	Свнд2ммS	Свнд3 мм	Коды вагонов	Показатели моделирования
6802 4	6828 4	6827 4	36 37 38 39	Поезд № 5 Код - 59 Кол-во вагонов - 53
6822 4	6808 4	6806 4	36 37 38 39	Кол-во попаданий - 2 % - 2,60
4800 4	4795 4	4806 4	33	
7017 8	1332 8	1332 8	58 59	
6811 4	6791 4	6808 4	36 37 38 39	Поезд № 6 Код - 12 Кол-во вагонов - 58
6802 4	6803 4	6815 4	36 37 38 39	Кол-во попаданий - 2 % - 2,60
5158 4	5129 4	5153 4	43	
5270 4	5249 4	5292 4	44 45 46	
5164 4	5137 4	5150 4	43	Поезд № 7 Код - 26 Кол-во вагонов - 44
5267 4	5259 4	5279 4	44 45 46	Кол-во попаданий - 2 % - 2,60
5149 4	5130 4	5157 4	43	
5143 4	5120 4	5166 4	43	
6819 4	6813 4	6829 4	36 37 38 39	Поезд № 8 Код - 28 Кол-во вагонов - 47
6820 4	6796 4	6814 4	36 37 38 39	Кол-во попаданий - 2 % - 2,60
4808 4	4787 4	4800 4	33	
4812 4	4780 4	4806 4	33	Поезд № 9 Код - 17 Кол-во вагонов - 61
4807 4	4781 4	4799 4	33	Кол-во попаданий - 3 % - 3,90
4805 4	4772 4	4808 4	33	
6804 4	6798 4	6831 4	36 37 38 39	
4797 4	4783 4	4811 4	33	Поезд № 10 Код - 53 Кол-во вагонов - 47
4804 4	4773 4	4789 4	33	Кол-во попаданий - 0 % - 0,00
6803 4	6808 4	6829 4	36 37 38 39	
7023 8	1341 8	1350 8	58 59	
6801 4	6808 4	6824 4	36 37 38 39	Поезд № 11 Код - 18 Кол-во вагонов - 57
6802 4	6790 4	6801 4	36 37 38 39	Кол-во попаданий - 57 % - 74,03
4804 4	4772 4	4786 4	33	
4808 4	4768 4	4784 4	33	

Листинг программы имитационной модели представлен в приложении Е.

Выводы

На основании проведенных исследований идентификации подвижных единиц с использованием контрольного участка с тремя точечными путевыми датчиками были сделаны следующие выводы:

- принимая во внимание возможные погрешности определения межосевых расстояний, некоторые из подвижных единиц идентифицировать с точностью определения их типа не возможно без дополнительной информации;
- в ряде случаев возможна идентификация подвижных единиц с точностью до указания некоторой группы, состоящей из 3 или 2 вагонов. Количество вагонов в группе и количество групп варьируется в зависимости от используемых технических средств и параметров контрольного участка;
- качество идентификации улучшается при сокращении рассматриваемого парка железнодорожных вагонов.

Разработанный метод идентификации поездов с использованием ТГНЛ показал высокую надежность и правильность работы. Данный метод не критичен к следующим факторам:

- высокая погрешность работы датчика (проводились эксперименты с погрешностью датчика до 80 мм);
- сбой одного из трех датчиков;
- количество идентифицируемых поездов в группе;
- скорость и ускорение движения поезда;
- изменение состава поезда в процессе его следования.

При применении метода следует уделить особое внимание выбору коэффициента качества идентификации.

В случае нахождения в группе двух и более одинаковых по характеристикам межосевых расстояний поездов, соответствующих идентифицируемому поезду, результат идентификации будет содержать несколько решений. При этом идентифицируемый поезд однозначно будет одним из результатов.

ВЫВОДЫ

Исследования, расчеты и разработанные методы, представленные в диссертационной работе и направленные на повышение качества и достоверности идентификации парка подвижного состава колеи 1520 мм на сортировочных станциях и прилегающих к ней железнодорожных путях, позволяют сделать следующие выводы:

1. Системы идентификации подвижных единиц на железнодорожном транспорте можно разбить на три основные группы:

- системы автоматического определения номеров вагонов;
- системы определение статических характеристик подвижных единиц;
- системы определения ходовых свойств подвижных единиц на сортировочных горках.

Каждый из этих видов идентификации решает свой круг поставленных перед ним задач, которые в свою очередь достаточно специфичны.

При большом разнообразии систем автоматического определения номеров вагонов масштабного распространения в нашей стране и ближнем зарубежье, они так и не получили. Особое внимание следует обратить на системы спутниковой навигации, как на наиболее развивающиеся на сегодняшний день.

Системы определения статических характеристик и ходовых свойств подвижных единиц достаточно широко распространены и используются на железных дорогах. При этом имеет место постоянное улучшение качества работы и использования подобных систем.

2. Анализ межосевых расстояний подвижных единиц показал, что наиболее важным параметром для их идентификации (определения типа) является расстояние между внутренними осями. Второй по значимости параметром идентификации подвижной единицы является расстояние между головкой автосцепки и крайней осью. Этот параметр можно использовать в качестве вспомогательного. Расстояния между осями тележки являются наименее информативными с точки зрения определения типа подвижных единиц.

3. Достигнута возможность расширения идентификации подвижных единиц на однотоочном контрольном участке для различных видов движения, за счет введения корректирующих коэффициентов μ для этих видов движения (равноускоренное движение: $\mu = 1 \dots 1,213$; равномерное движение: $\mu = 1,153 \dots 2,224$; равнозамедленное движение: $\mu = 1 \dots 1,476$).

Вычисления значений коэффициентов μ были выполнены для ускорений в диапазоне от $-0,6$ до $0,6$ м/с², изменение начальной скорости движения осуществлялась от 0 до 15 м/с. При этом среднеквадратическое отклонение ошибки датчика не должно превышать 14 мм.

4. Разработаны структура контрольного участка и процедура обработки сигналов для двухточечного метода определения количества и осности подвижных единиц, не зависящего от параметров движения. Данный метод используется на спускной части горки для контроля правильности расцепления отцепов. Метод не критичен к видам движения отцепов (движение с ускорением, остановка, реверсивное движение).

5. Выполнен анализ ошибки определения межосевых расстояний подвижных единиц. Выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на данную ошибку:

- погрешность работы датчика;
- расстояние между датчиками на контрольном участке;
- замеряемое межосевое расстояние.

6. Повышена эффективность определения типа подвижных единиц за счет использования полученной функции погрешности определения межосевых расстояний от расстояния между датчиками, величины замеров межосевого расстояния, точности работы точечных путевых датчиков ($\sigma_{AS}=f(L, S, \sigma_d)$). Эта функция позволяет вычислить предельную погрешность определения межосевых расстояний на выбранном контрольном участке, а также, исходя из допустимых значений погрешности, сформировать параметры контрольного участка.

7. Выполнен сравнительный анализ допустимых и возможных ошибок определения межосевых расстояний, на основании чего сделан вывод о невозможности определения типа подвижных единиц на трехточечном контрольном участке при одинаковых или близких (менее 30 мм) значениях межосевых расстояний без использования дополнительных средств информации.

8. Разработан метод идентификации поезда с использованием ТГНЛ. При этом идентификация поезда выполняется повагонно с применением вероятностного подхода. В систему введен коэффициент качества идентификации, позволяющий выполнять управления процессом идентификации.

9. Разработана имитационная модель идентификации поезда на трехточечном контрольном участке с использованием ТГНЛ. Результаты

апробации метода идентификации поезда показали высокую надежность и правильность. В качестве объектов идентификации были собраны ТГНЛ поездов со станции Запорожье-Левое за двое суток. Данная имитационная модель позволяет проверять и другие алгоритмы идентификации поездов.

10. Результаты диссертационной работы были использованы в научно-исследовательской работе «Информационно-управляющий комплекс сортировочной станции». Внедрение этой работы планируется в 2013-2014гг. на станции Нижнеднепровск-Узел.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров В. Г. Использование системы автоматической идентификации контейнеров и подвижных средств (САИД)/ В. Г. Федоров, В. Л. Романов, Г. А. Угрюмов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. – № 7. – С. 27–31.
2. Рейтц Д. Дж. Система автоматической идентификации подвижных составов / Д. Дж. Рейтц // Железные дороги мира. – 1987 – № 6. – С. 21–24.
3. Косилов Р. А. Телевизионно-цифровой комплекс считывания номеров вагонов / Р. А. Косилов, И. А. Озеров // Автоматика, телемеханика и связь. – 1998. – № 4. – С. 9–13.
4. Телевизионно-цифровой комплекс считывания номеров вагонов / Р. А. Косилов, А. В. Кекало, Е. В. Рубцов, А. Н. Рябинин // Автоматика, телемеханика и связь. – 1998. – № 3. – С. 12–14.
5. Смирнов А. Е. Метод распознавания номера вагона с помощью механизма нечеткого вывода / А. Е. Смирнов // Вестн. РГРТУ. – 2007. – № 22. – С. 24–27.
6. Денисов В. И. Системы считывания номеров подвижного состава / В. И. Денисов // Железнодорожный трансп. – 1988. – № 8. – С. 77–79.
7. Armstrong J. Vehicle ID: search ranges far and near / J. Armstrong // Railway Age. – 1985. – № 11. – P. 34–40.
8. Armstrong J. Breakthroughs in vehicle identification / John Armstrong // Railway Age. USE. – 1984. – № 4. – P. 40–42, 47–48.
9. Армстронг Дж. Системы идентификации подвижного состава на железных дорогах Северной Америки / Дж. Армстронг // Железные дороги мира. – 1987. – № 5. – С. 40–44.
10. Опыт использования технологии обработки изображений при проектировании интеллектуальных транспортных систем / С. Н. Еремин, Л. Л. Малыгин, А. Е. Михайлов, В. А. Царев // Искусственный интеллект в XXI веке : тр. международного конгр. ICAI'2001. – М. : Физматлит, 2001. – Т. 2. – С. 676–690.
11. Миямото Т. Применение электрооптических систем на железных дорогах Японии / Т. Миямото // O Plus E. – 1994. – № 181. – С. 107–112.
12. Тодорики М. Системы автоматического считывания информации с вагонов / М. Тодорики // Железные дороги мира. – 1985. – № 11. – С. 22–26.
13. Бергер Р. Средства автоматической идентификации подвижных составов в многофункциональных системах управления / Р. Бергер // Железные дороги мира. – 1992. – № 10. – С. 54–56.
14. Форд Р. Идентификация и определение местоположения подвижного состава / Р. Форд // Modern Railways. – 1998. – N 592. – С. 25–27.
15. Юге Т. Автоматическая идентификация вагонов на Японских национальных железных дорогах / Т. Юге // Железные дороги мира. – 1983. – № 12. – С. 54–56.

16. Todoriki M. Automatic Car Identification System Using Microwave and Its Applications to Railway Transportation. / M. Todoriki, T. Yuge, C. Ushiyama // Quarterly reports of Railway Technical Research Institute. – 1984. – № 4. – P. 129–132.
17. Системы автоматической идентификации подвижного состава на железных дорогах Северной Америки // Железные дороги мира. – 1993. – № 9. – С. 36–41.
18. Горбунов В. А. Перспективы устройств автоматического считывания подвижного состава / В. А. Горбунов, В. А. Ежов // Железнодорожный трансп. – 1997. – № 3. – С. 7–9.
19. Ткаченко А. П. Способ и система дистанционного опроса для идентификации объектов / А. П. Ткаченко // Радиотехника. – 1998. – № 5. – С. 48–52.
20. Система автоматической идентификации транспортных средств "Пальма" / В. В. Белов, В. А. Буянов, М. Д. Рабинович и др. // Железнодорожный трансп. – 2002. – № 8. – С. 54–59.
21. Филатов А. Система автоматической идентификации железнодорожного подвижного состава / А. Филатов // Железнодорожный трансп. – 1999. – № 9. – С. 68–70.
22. Системы автоматического определения местоположения и идентификации подвижного состава // Железные дороги мира. – 1998. – № 6. – С. 41–45.
23. Айценбеггер Г. Автоматическая идентификация подвижного состава / Г. Айценбеггер // Железные дороги мира. – 1991. – № 2. – С. 37–39.
24. AVI: a system that works (Burlington Northern tests automatic vehicle identification system) (includes article on Chicago and North Western's General Railway Signal "Identifier" system) // Railway Age. – 1989. – № 10. – P. 37–38.
25. Батисс Ф. Автоматическая идентификация подвижного состава / Ф. Батисс // Железные дороги мира. – 1997. – № 2. – С. 53–58.
26. Система счета осей Arl 70 – 30 фирмы SEL // Железные дороги мира. – 1994. – № 11. – С. 13–17.
27. Todoriki M. Automatic Car Identification System Using Microwave and Its Applications to Railway Transportation / M. Todoriki, T. Yuge, C. Ushiyama // Quarterly reports of Railway Technical Research Institute. – 1984. – № 4. – P. 129–132.
28. Fuller E. B. New Perspectives in Automatic Vehicle Identification / E. B. Fuller // Progressive Railroading. – 1985. – № 7. – P. 43–44.
29. Welty G. Vehicle ID: the transponder solution / G. Welty // Railway Age. – 1988. – № 7. – P. 49–51.
30. Webster K. O. Automatic Traffic and Asset Control System now Available / K. O. Webster // Railways. – 1990. – VI–VII. – P. 3,5,7.
31. Автоматическое опознавание транспортных средств. Система DYNICOM // Автоматика, телемеханика и связь. – 1995. – № 1. – С. 38–39.

32. Информационно-аналитический центр контроля ГЛОНАСС и GPS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.glonass-center.ru
33. European Space Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: HYPERLINK "http://www.esa.int/"www.esa.int
34. Электронный журнал по геодезии, картографии и навигации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.geoprofi.ru
35. DYNICOM und INCOM für automatische Erkennung im Kombiverkehr // Ing. Post und Telekommun. – 1994. – № 2. – С. 100.
36. Домницкий Л. А. Устройство автоматического съема информации с подвижного состава железных дорог / Л. А. Домницкий // Автоматизированные информационные системы на железнодорожных станциях : межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. – Д., 1986. – Вып. 247/15. – С. 83–88.
37. Домницкий Л. А. Об автоматическом считывании номеров вагонов / Л. А. Домницкий // Подъемно-транспортная техника и склады. – 1992. – № 1. – С. 22–27.
38. Подпалько Л. Ф. Использование проникающих излучений радиоактивных изотопов для автоматического считывания вагонов / Л. Ф. Подпалько // Тр. ЦНИИ МПС. – 1969. – Вып. 380. – С. 13–19.
39. Краковский Г. А. Методика подбора измерительных устройств при автоматизации горок / Г. А. Краковский // Вестн. ВНИИЖТа. – 1957. – № 6. – С. 44–49.
40. Федорко Ю. М. Устройство для автоматического подсчета вагонов по их типам / Ю. М. Федорко // Автоматика, телемеханика и связь. – 1972. – № 2. – С. 18–20.
41. Косорига Ю. А. Устройство для счета осей / Ю. А. Косорига // Автоматизированные системы управления техническими процессами на железнодорожных станциях. – 1980. – Вып. 211/9. – С. 75–77.
42. Штанке А. Э. Исследование способов реверсивного счета осей педалями ТПК / А. Э. Штанке // Автоматическое управление и вычислительная техника на железнодорожном транспорте : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1973. – С. 139–150.
43. Алексеев В. М. К вопросу выбора направления идентификации параметров в распознающих системах / В. М. Алексеев // Автоматизированные информационные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1986. – С. 99–103.
44. Губенко В. Е. Метод идентификации отцепов по сигналам рельсовых цепей / В. Е. Губенко // Автоматизированный информационно-управляющие системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1988. – С. 35–42.
45. Губенко В. Е. Методическая ошибка измерения базы отцепа по сигналам рельсовых цепей / В. Е. Губенко // Автоматизированные информационные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д.,

1988. – С. 42–47.
46. Шамашов М. А. Программно-аппаратный измеритель скорости и межосевых расстояний, счетчик вагонов и осей / М. А. Шамашов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1994. – № 8. – С. 9–10.
 47. Ткачев В. М. Определение типа движущихся единиц подвижного состава с помощью реверсивной контрольной точки [в маневровых районах станций] / В. М. Ткачев // Структура автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом : межвуз. сб. науч. ст. / БИИЖТ. – Гомель, 1986. – С. 103–110.
 48. Егоров О. И. Метод определения осности и количества подвижных единиц в отцепе / О. И. Егоров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 4. – С. 6–8.
 49. Егоров О. И. Определение статических характеристик подвижного состава в АСУ ТП на железнодорожных станциях / О. И. Егоров // Вісн. Технологічного ун-ту Поділля. – 2002. – Т. 1. – С. 162–166.
 50. Егоров О. И. Имитационная модель трехточечного метода определения межосевых расстояний подвижной единицы / О. И. Егоров // Вісн. Технологічного ун-ту Поділля. – 2003. – Т. 1. – С. 64–68.
 51. Егоров О. Й. Імітаційна модель процесу ідентифікації вагонів у відцепі / О. Й. Єгоров // Вісн. Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 2003. – № 2. – Т. 8. – С. 93–99.
 52. Егоров О. И. Исследование погрешности определения типа подвижных единиц на железнодорожном транспорте / О. И. Егоров // Зб. наук. пр. Київського ун-ту економіки і технологій трансп. – 2003. – Вип. 4. – С. 36–41.
 53. Егоров О. И. Горочное программно-задающее устройство на основе промышленных контроллеров / И. В. Жуковицкий, Ю. А. Косорига, О. И. Егоров // Вісн. Хмельницького нац. ун-ту. – 2007. – № 2. – С. 22–24.
 54. Егоров О. И. Автоматизированная идентификация подвижных единиц и поезда в целом / И. В. Жуковицкий, О. И. Егоров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 6. – С. 77–82.
 55. Косорига Ю. А. Контроль расцепа в горочных АСУ ТП на базе микроЭВМ / Ю. А. Косорига, А. В. Сесса // Автоматизированные информационно-управляющие системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1990. – С. 71–76.
 56. Штанке А. Э. Исследование и выбор путевых датчиков в системе диспетчерского контроля / А. Э. Штанке, И. Г. Красовская // Совершенствование устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : межвуз. сб. науч. ст. – Свердловск, 1973. – Вып. 34. – С. 59–66.
 57. А. с. № 580137 СССР, МКИ² В 61 L 1/16. Устройство для опознавания типа рельсовых транспортных средств / Балагуров Л. И., Валеев В. Ф., Коробочкин Ю. М. (СССР). – 1984751/27–11; заявл. 28.12.73; опубл. 15.

- 11.77, Бюл. № 42, 3 с.
- 58.А. с. № 658023 СССР, МКИ² В 61 L 1/16. Устройство для автоматического счета подвижных объектов / Лямперт О. В. (СССР). – 1932643/27–11; заявл. 20.06.75; опубл. 25.04.79, Бюл. № 24, 5 с.
- 59.А. с. № 673504. СССР, МКИ² В 61 L 1/16. Устройство для определения движущихся объектов / Турцевич Г. В., Федоровский В. В., Франко Р. Т. (СССР). – 1932643/27–11; заявл. 20.06.73; опубл. 15.07.79, Бюл. № 12, 3 с.
- 60.А. с. № 722791 СССР, МКИ² В 61 L 1/16. Устройство для определения осности и учета вагонов / Дрейер Л. Г., Негачев В. Д. (СССР). – 2107080/27–11; заявл. 18.02.75; опубл. 25.03.80, Бюл. № 11, 3 с.
- 61.А. с. № 759371 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство для счета подвижных единиц на сортировочной горке / Игнатов Б.А., Красовский Г. А., Ципп Д. Э., Панасюк Р. В. (СССР). – 2568741/27–11; заявл. 09.01.78; опубл. 30.08.80, Бюл. № 32, 5 с.
- 62.А. с. № 797939 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство для счета осей / Косорига Ю. А. (СССР). – 2690753/27–11; заявл. 03.11.78; опубл. 23.01.81, Бюл. № 3, 3 с.
- 63.А. с. № 850465 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство счета единиц подвижного состава / Абросимов А. В., Василенко М. Н., Молодцов В. П., Сапожников В. В., Сапожников В. В., Трохов В. Г., Онуфриев О. В. (СССР). – 2850940/27–11; заявл. 12.12.79; опубл. 30.07.81, Бюл. № 28, 2 с.
- 64.А. с. № 943060 СССР, МКИ³ В 61 L 25/02. Устройство для опознавания типа вагонов / Клеветенко Е. Н. СССР. – 3210635/27–11; заявл. 03.12.80; опубл. 15.07.82, Бюл. № 6, 4 с.
- 65.А. с. № 1039777 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство счета вагонов / Соболев Ю. В., Попов О. С., Загарий Г. И., Сеница А. И., Бобров П. М., Унтилов В. П., Иванов В. Г., Суд Э. Н. (СССР). – 3401170/27–11; заявл. 24.02.82; опубл. 07.09.83, Бюл. № 33, 4 с.
- 66.А. с. № 1050947 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа движущегося вагона / Соболев Ю. В., Попов О. С., Загарий Г. И., Сеница А. И., Бобров П. М., Унтилов В. П., Адонин В. И. (СССР). – 3412469/27–11; заявл. 23.03.82; опубл. 30.10.83, Бюл. № 40, 7 с.
- 67.А. с. № 1024339 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство для определения типа вагонов / Есин А. В., Соловьев А. В., Юдилевич В. З. (СССР). – 3402853/27–11; заявл. 25.02.82; опубл. 26.06.83, Бюл. № 23, 2 с.
- 68.А. с. № 1079516 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство для счета осей транспортного средства / Гриценко В. И., Завиновский В. Г., Лапа А. П., Лукошин Г. П. (СССР). – 3477419/27–11; заявл. 28.07.82; опубл. 15.02.84, Бюл. № 10, 6 с.
- 69.А. с. № 1100173 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство для счета подвижных единиц / Овсиенко А. П., Сисев В. П., Скляров Н. И., Маркелов А. Н. (СССР). – 3523670/27–11; заявл. 17.12.82; опубл. 30.06.84, Бюл. № 24, 4 с.

70. А. с. № 1123921 СССР, МКИ³ В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа движущегося вагона / Попов О. С., Унтилов В. П., Бобров П. М., Адонин В. И., Фереферов Ю. С., Суд Э. Н. (СССР). – 3559309/27–11; заявл. 28.02.83; опубл. 15.11.84, Бюл. № 42, 7 с.
71. А. с. № 1137000 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа движущихся вагонов / Попов О. С., Унтилов В. П., Бобров П. М., Мозолина З. А. (СССР). – 3564622/27–11; заявл. 12.01.83; опубл. 30.01.85, Бюл. № 4, 3 с.
72. А. с. № 1168458 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для определения длины вагонов / Боровков Ю. Г., Дудниченко А. М., Перов А. Н., Перов И. Н. (СССР). – 3678439/27–11; заявл. 26.12.83; опубл. 23.07.85, Бюл. № 27, 4 с.
73. А. с. № 1189713 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для определения направления движения транспортного средства / Модин Н. К., Щербаков Е. В., Захаров И. Е. (СССР). – 3492326/27–11; заявл. 20.09.82; опубл. 07.11.85, Бюл. № 41, 4 с.
74. А. с. № 1230898 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для контроля проследования и счета физических единиц железнодорожного подвижного состава / Аушев Л. Н., Белов В. В., Хараш Ю. М. (СССР). – 3813383/27–11; заявл. 20.11.84; опубл. 15.05.86, Бюл. № 18, 4 с.
75. А. с. № 1260280 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа вагонов подвижного состава / Попов О. С., Унтилов В. П., Фереферов Ю. С., Суд Э. Н. (СССР). – 3876545/27–11; заявл. 01.04.85; опубл. 30.09.86, Бюл. № 36, 5 с.
76. А. с. № 1284870 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для счета железнодорожных подвижных единиц / Белова В. В., Белов Г. А., Колчин В. В. (СССР). – 3816150/27–11; заявл. 27.11.84; опубл. 23.01.87, Бюл. № 3, 5 с.
77. А. с. № 1320107 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для определения статических параметров отцепов на сортировочной горке / Боровиков Ю. Г., Дудниченко А. М., Перов А. Н., Перов И. Н. (СССР). – 3997931/27–11; заявл. 26.12.85; опубл. 30.06.87, Бюл. № 24, 8 с.
78. А. с. № 1379168 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа подвижных единиц железнодорожного состава / Попов О. С., Унтилов В. П., Адонин В. И., Таратушка В. А., Кондратьев Н. Н. (СССР). – 4048659/27–11; заявл. 07.04.86; опубл. 07.03.88, Бюл. № 9, 4 с.
79. А. с. № 1418149 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для счета осей и подвижных единиц железнодорожного подвижного состава / Мгебришвили Н. Н., Тевзадзе З. С., Элизбарашвили М. И., Ломтатидзе Г. А. (СССР). – 4233080/27–11; заявл. 20.04.87; опубл. 23.08.88, Бюл. № 31, 3 с.
80. А. с. № 1484773 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для определения местоположения сцепного узла вагонов / Кузин А. П. (СССР). – 4220909/27–11; заявл. 30.03.87; опубл. 07.06.89, Бюл. № 21, 3 с.

81. А. с. № 1512844 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для счета осей и подвижных единиц / Белова В. В., Белов Г. А., Колчин В. В., Ципп Л. Э., Гантварг Б. Г., Легостев А. Н., Наумов И. Л. (СССР). – 4060567/27–11; заявл. 28.04.86; опубл. 07.10.89, Бюл. № 37, 6 с.
82. А. с. № 1623903 СССР, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для счета единиц подвижного состава / Компанец Д. М., Вальдас С. А., Карпов В. И., Турцевич Г. В. (СССР). – 4361150/11; заявл. 12.01.88; опубл. 30.01.91, Бюл. № 4, 3 с.
83. А. с. № 1652157 СССР, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа подвижной единицы подвижного состава / Попов О. С., Унтилов В. П., Воронько В. А., Котелевец В. Н., Яценко В. И. (СССР). – 4671968/11; заявл. 03.04.89; опубл. 30.05.91, Бюл. № 20, 6 с.
84. А. с. № 1719260, МКИ⁵ В 61 L 1/16 25/02. Устройство для опознавания типа вагонов / Соколев Ю. В., Соколов В. М., Придубков П. Я., Майборода А. Ф., Прогонный А. Н., Пилипенко В. В. – 4793120/11; заявл. 15.02.90; опубл. 15.03.92; Бюл. № 10, 13 с.
85. А. с. № 1787845, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для опознания типа вагонов / Захаров В. А., Черненко В. М. – 4721169/11; заявл. 31.05.89; опубл. 15.01.93, Бюл. № 2, 3 с.
86. А. с. № 1794742, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для определения статических параметров отцепа на сортировочной горке / Катков А. В., Родионов Д. В. – 4885711/11; заявл. 30.10.90; опубл. 15.02.93, Бюл. № 6, 4 с.
87. А. с. № 1799774, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для вычисления данных для идентификации поездов в движении / Захаров В. А., Колчук С. П. – 4937555/11; заявл. 06.02.91; опубл. 07.03.93, Бюл. № 9, 6 с.
88. А. с. № 2000976, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для счета подвижных единиц / Банников В. М., Котов Ю. Н., Понкин А. В., Чуриков И. В. – 4954893/11; заявл. 05.06.91; опубл. 15.10.93, Бюл. № 37–38, 14 с.
89. А. с. № 2000975, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Способ счета вагонов / Банников В. М., Котов Ю. Н., Понкин А. В., Чуриков И. В. – 4926548/11; заявл. 08.04.91; опубл. 15.10.93, Бюл. № 37–38, 5 с.
90. А. с. № 2003540, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для счета осей и подвижных единиц железнодорожного подвижного состава / Гургенидзе М. З., Мгебришвили Н. Н., Сартиния Г. Г., Данелия И. З., Брегвадзе Т. У. – 5003997/11; заявл. 03.10.91; опубл. 30.11.93, Бюл. № 43–44, 4 с.
91. А. с. № 2013263, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для счета подвижных единиц / Банников В. М., Котов Ю. Н., Понкин А. В., Чуриков И. В. – 4942993/11; заявл. 05.06.91; опубл. 30.05.94, Бюл. № 10, 13 с.
92. А. с. № 1682228, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для определения длины отцепов на сортировочной горке / Попов О. С., Долаберидзе А. М., Унтилов В. П., Воронько В. А., Котелевец В. Н., Яценко В. И. –

- 4428794/11; заявл. 05.04.88; опубл. 07.10.91, Бюл. № 37, 5 с.
93. А. с. № 1643272, МКИ⁵ В 61 L 1/16. Устройство для контроля проследования подвижного состава / Симаков Н. В., Аушев С. А., Сухая В. Е. – 4709705/11; заявл. 23.06.89; опубл. 23.04.91, Бюл. № 15, 3 с.
94. А. с. № 2063894, МКИ⁶ В 61 L 1/16. Устройство для счета осей железнодорожных подвижных составов / Валеев Г. Г., Захарченко И. И., Федоров В. . – 93031337/11; заявл. 08.06.1993; опубл. 20.07.1996, Бюл. № 17, 9 с.
95. А. с. № 1211129 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для автоматического учета поездов / Гриненко Ю. П., Гречко В. В., Рондель Л. Б. (СССР). – 3684531/27–11; заявл. 04.01.84; опубл. 15.02.86, Бюл. № 6, 2 с.
96. А. с. № 1379169 СССР, МКИ⁴ В 61 L 1/16. Устройство для определения длины поезда / Соболев Ю. В., Попов О. С., Номеровский А. И., Борченко В. П., Унтилов В. П., Ударов В. М. (СССР). – 4076179/27–11; заявл. 10.06.86; опубл. 07.03.88, Бюл. № 9, 2 с.
97. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок / под ред. Сотникова Е. А. – М. : Транспорт, 1975. – 102 с. – (Тр. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп.; вып. 545).
98. Фролов А. Н. Сопротивление вагонов при скатывании с горки / А. Н. Фролов, Б. В. Боцманов. – М. : Трансжелдориздат, 1939. – 132 с. – (Тр. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп.; вып. 60).
99. Орлов А. П., Волков В. П. Основное удельное сопротивление скатыванию грузовых вагонов с горок / А. П. Орлов, В. П. Волков // Вестн. ВНИИЖТ. – 1967. – № 2. – С. 21–24.
100. Расчет сопротивления вагонов на роликовых подшипниках при скатывании с сортировочной горки // Железнодорожный трансп. – 1973. – № 1. – С. 30–33.
101. Орлов А. П. Новые нормы удельных сопротивлений для расчета сортировочной горки / А. П. Орлов, В. П. Волков // Железнодорожный трансп. – 1964. – № 6. – С. 50–52.
102. Бевзюк Ф. Ф. О ходовых свойствах длинных отцепов при скатывании их с горки / Ф. Ф. Бевзюк // Вестн. ВНИИЖТ. – 1963. – № 6. – С. 50–52.
103. Рудановский В. М. Об определении удельных сопротивлений движению вагонов на путях с переменным уклоном / В. М. Рудановский // Вестн. ВНИИЖТ. – 1969. – № 1. – С. 46–50.
104. Яневич В. З. Исследование основного удельного сопротивления порожних вагонов при уборке их от вагоноопорокидывателей / В. З. Яневич // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1968. – Вып. 81/5. – С. 45–48.
105. Яневич В. З. О расчете погрешностей при изменении ходовых свойств вагонов / В. З. Яневич // Вопр. механизации и автоматизации

- сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1975. – Вып. 168/9. – С. 81–90.
106. Старковский И. И. Об измерительном участке для определения ходовых свойств вагонов на сортировочных горках / И. И. Старковский, Л. Б. Тишков // Вестн. ВНИИЖТ. – 1975. – № 5. – С. 54–59.
 107. Старшов И. П. Некоторые вопросы определения удельных сопротивлений вагонов при скатывании их с сортировочных горок / И. П. Старшов // Тр. ЦНИИ МПС. – 1968. – Вып. 380 – С. 93–100.
 108. Фонарев Н. М. Автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках / Фонарев Н. М. – М. : Транспорт, 1971. – 272 с.
 109. Ваванов Ю. В. Методы измерения ускорений отцепов и анализ их погрешностей / Ю. В. Ваванов, Н. М. Фонарев // Вестн. ВНИИЖТ. – 1967. – № 8. – С. 22–26.
 110. Жуковицкий И. В. О повышении точности определения сопротивления движению отцепов в условиях АСУРСТ / И. В. Жуковицкий, А. Б. Устенко // Автоматизированные системы управления техническими процессами на железнодорожных станциях : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1981. – Вып. 218/10. – С. 47–52.
 111. Муха Ю. А. Динамика скатывания отцепов с горки и проблема оценки их ходовых свойств / Ю. А. Муха, А. И. Павловский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1981. – Вып. 216/14. – С. 37–47.
 112. Муха Ю. А. О достоверности оценки ходовых свойств отцепов на сортировочной горке / Ю. А. Муха, А. И. Павловский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях. – 1983. – Вып. 229/15. – С. 36–48.
 113. Павловский А. И. О погрешностях оценки ходовых свойств на измерительном участке / А. И. Павловский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1981. – Вып. 216/14. – С. 61–68.
 114. Павловский А. И. Методика экспериментальных исследований удельных сопротивлений движению / А. И. Павловский, Ю. А. Муха, И. А. Горбачева // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1990. – Вып. 271/17. – С. 4–11.
 115. К вопросу о сопротивлении воздушной среды при скатывании отцепов на сортировочных устройствах / А. П. Долаберидзе, В. И. Крячко, А. И. Маругин, С. Н. Волк // Автоматизированные информационно-управляющие системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1990. – С. 31–35.
 116. Божко Н. П. Исследование влияния параметров, определяющих сопротивление движению от среды и ветра, на высоту сортировочной горки / Н. П. Божко // Механизация и автоматизация сортировочного

- процесса на станциях : межвуз. сб. науч. ст. / ДИИТ. – Д., 1990. – Вып. 271/17. – С. 44–53.
117. Монастырный В. М. Определение воздушного сопротивления подвижного состава по картине давлений / В. М. Монастырный // Вопр. эксплуатации железных дорог : межвуз. сб. науч. ст. / НИИТ. – Новосибирск, 1968. – Вып. 83. – С. 77–83.
 118. Орлов А. П. Сопротивление движению вагонов от стрелочных переводов и кривых / А. П. Орлов, В. П. Волков, И. П. Старшов // Вестн. ВНИИЖТ. – 1969. – № 8 – С. 44–47.
 119. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР. Альбом. – М. : Транспорт, 1989. – 173 с.
 120. Раков В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985) / В. А. Раков. – М. : Транспорт, 1990. – 238 с.
 121. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М. : Высшая шк., 1999. – 479 с.
 122. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971. – 570 с.
 123. Егоров А. Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / А. Е. Егоров, Г. Н. Азаров, А. В. Коваль. – Х. : Вища шк., 1986. – 240 с.
 124. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / под ред. Э. К. Лецкого. – М. : Мир, 1977. – 552 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблицы межосевых расстояний подвижных единиц колеи 1520

Таблица А.1 – Межосевые расстояния 4-х осных вагонов

$L_{\text{сц}}, \text{ мм}$	$L_{\text{вн}}, \text{ мм}$	Тип подвижной единицы	Разность $L_{\text{вн}}, \text{ мм}$	Разность $L_{\text{сц}}, \text{ мм}$
1	2	3	4	5
1140	4020	Полувагон	780	45
1185	4800	Полувагон	350	400
1585	5150	Цистерна	120	-60
1525	5270	Цистерна	0	100
1625	5270	Цистерна	0	100
1725	5270	Цистерна	80	-250
1475	5350	Полувагон	120	50
1525	5470	Крытый	180	-340
1185	5650	ваг-сам	0	55
1240	5650	ваг-сам	0	310
1550	5650	ваг-сам	0	-410
1140	5650	Крытый	0	45
1185	5650	Крытый	200	0
1185	5850	Крытый	80	0
1185	5930	Полувагон	20	0
1185	5950	Цистерна	0	235
1420	5950	Цистерна	70	-280
1140	6020	Крытый	0	45
1185	6020	Крытый	780	500
1685	6800	Полувагон	0	25
1710	6800	Полувагон	0	220
1930	6800	Полувагон	0	25
1955	6800	Полувагон	330	-770
1185	7130	Крытый	314	340
1525	7444	Платформа	6	-70
1455	7450	Бункер	50	-270
1185	7500	Цистерна	370	340
1525	7870	Бункер	0	-610
915	7870	Платформа	0	610
1525	7870	Платформа	110	0
1525	7980	Крытый	0	310
1835	7980	Крытый	170	-395
1440	8150	Крытый	300	545
1985	8450	Цистерна	200	-800
1185	8650	Крытый	270	-45

Продолжение таблицы А.1.

1	2	3	4	5
1140	8920	Крытый	730	45
1185	9650	Цистерна	100	1130
2315	9750	Крытый	640	-875
1440	10390	Крытый	1110	-300
1140	11500	Бункер	20	0
1140	11520	Крытый	0	0
1140	11520	Полувагон	410	570
1710	11930	Полувагон	620	-25
1685	12550	Платформа	320	-160
1525	12870	Платформа	970	185
1710	13840	Полувагон	810	-85
1625	14650	Платформа	500	1080
2705	15150	Крытый	0	210
2915	15150	Крытый	750	-1105
1810	15900	Платформа	1250	375
2185	17150	Платформа		-2185

Таблица А.2 – Межосевые расстояния 6-ти осных вагонов и
ЛОКОМОТИВОВ

L _{бт} , мм	L _{сц} , мм	L _{вн} , мм	Тип подвижной единицы	Разность L вн, мм	Разность L сц, мм
4200	2085	4400	тепл. ТЭМ2	200	-200
4000	2310	4600	тепл. ЧМЭЗ	60	0
4000	2280	4660	тепл. ЧМЭЗт	610	-300
3700	2150	5270	тепл. ТЭМЗ	230	-200
3500	1360	5500	Платформа	440	-100
3400	1080	5940	ваг-сам	1360	-400
3000	1340	7300	Цистерна	140	0
3000	870	7440	Полувагон		-3000

Таблица А.3 – Межосевые расстояния 8-ми осных вагонов и
ЛОКОМОТИВОВ

L _{бт} , мм	L _{сц} , мм	L _{вн} , мм	Тип подвижной единицы	Разность L вн, мм	Разность L сц, мм
----------------------	----------------------	----------------------	--------------------------	----------------------	----------------------

1	2	3	4	5	6
5050	1335	2730	Полувагон	670	975
6300	2310	3400	тепл. ЧМЭ5	1200	-160
6300	2150	4600	тепл. ТЭМ7	870	-590
5050	1560	5470	Цистерна	30	80
5050	1640	5500	Полувагон	1520	-80
5050	1560	7020	Полувагон	0	130
5050	1690	7020	Полувагон	110	-550
5050	1140	7130	Цистерна	1610	0
5050	1140	8740	Цистерна	130	0
5050	1140	8870	Цистерна	2750	0
5050	1140	11620	Цистерна		

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблицы значения коэффициентов μ и листинг имитационной модели проверки значений μ для одноточечного метода идентификации подвижного состава

Таблица Б.1 – Значение коэффициентов для 4-х осного полувагона ($L_{BH}=4020$, $L_{OCB}=1850$)

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																		
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29		
15	2,171	2,164	2,157	2,150	2,144	2,137	2,131	2,124	2,270	2,173	2,174	2,176	2,177	2,178	2,179	2,180	2,181		
14	2,172	2,167	2,161	2,156	2,151	2,146	2,142	2,137		2,173	2,175	2,176	2,177	2,179	2,180	2,181	2,183		
13	2,172	2,168	2,164	2,160	2,156	2,153	2,149	2,145		2,173	2,175	2,176	2,178	2,179	2,181	2,183	2,184		
12	2,172	2,169	2,166	2,163	2,160	2,157	2,154	2,151		2,173	2,175	2,177	2,179	2,181	2,182	2,184	2,186		
11	2,172	2,170	2,167	2,165	2,162	2,160	2,157	2,155		2,174	2,176	2,178	2,180	2,182	2,184	2,186	2,189		
10	2,172	2,170	2,168	2,166	2,164	2,162	2,160	2,158		2,174	2,176	2,179	2,181	2,184	2,187	2,189	2,192		
9	2,173	2,171	2,169	2,167	2,166	2,164	2,162	2,160		2,174	2,177	2,180	2,183	2,187	2,190	2,193	2,196		
8	2,173	2,171	2,170	2,168	2,167	2,165	2,164	2,162		2,174	2,178	2,182	2,186	2,190	2,194	2,199	2,203		
7	2,173	2,171	2,170	2,169	2,167	2,166	2,165	2,164		2,174	2,180	2,185	2,190	2,196	2,201	2,207	2,212		
6	2,173	2,172	2,170	2,169	2,168	2,167	2,166	2,165		2,175	2,182	2,189	2,197	2,204	2,212	2,219	2,227		
5	2,173	2,172	2,171	2,170	2,169	2,168	2,167	2,166	2,176	2,186	2,197	2,207	2,218	2,230	2,241	2,253			
4	2,173	2,172	2,171	2,170	2,169	2,168	2,167	2,167	2,177	2,193	2,210	2,228	2,246	2,265	2,285	2,305			
3	2,173	2,172	2,171	2,170	2,170	2,169	2,168	2,167	2,180	2,210	2,241	2,275	2,312	2,351	2,393	2,439			
2	2,173	2,172	2,171	2,171	2,170	2,169	2,169	2,168	2,189	2,260	2,343	2,442	2,563	2,718	2,928	3,248			
1	2,173	2,172	2,172	2,171	2,170	2,170	2,169	2,168	2,241	2,675									
MAX						2,173	MIN		2,124	MAX						3,248	MIN		2,173

Таблица Б.2 – Значение коэффициентов для 6-ти осного локомотива ($L_{BH}=4400$, $L_{OCB}=2100$)

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																						
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29						
15	2,095	2,093	2,091	2,089	2,087	2,085	2,083	2,081	2,095	2,096	2,098	2,100	2,102	2,104	2,106	2,108	2,110						
14	2,095	2,092	2,090	2,088	2,086	2,083	2,081	2,079		2,096	2,098	2,100	2,103	2,105	2,107	2,110	2,112						
13	2,095	2,092	2,089	2,087	2,084	2,081	2,079	2,076		2,096	2,099	2,101	2,104	2,107	2,109	2,112	2,115						
12	2,094	2,091	2,088	2,085	2,082	2,079	2,076	2,073		2,096	2,099	2,102	2,105	2,109	2,112	2,115	2,118						
11	2,094	2,091	2,087	2,083	2,080	2,076	2,073	2,069		2,096	2,100	2,104	2,107	2,111	2,115	2,119	2,123						
10	2,094	2,090	2,085	2,081	2,077	2,072	2,068	2,064		2,096	2,101	2,105	2,110	2,115	2,119	2,124	2,129						
9	2,094	2,088	2,083	2,078	2,072	2,067	2,062	2,057		2,097	2,102	2,108	2,114	2,119	2,125	2,131	2,137						
8	2,093	2,087	2,080	2,073	2,066	2,060	2,053	2,047		2,097	2,104	2,111	2,119	2,126	2,133	2,141	2,149						
7	2,093	2,084	2,075	2,066	2,058	2,049	2,041	2,033		2,098	2,107	2,116	2,126	2,136	2,146	2,156	2,166						
6	2,092	2,080	2,068	2,056	2,045	2,034	2,023	2,012		2,098	2,111	2,124	2,137	2,151	2,165	2,179	2,194						
5	2,091	2,073	2,056	2,040	2,024	2,009	1,994	1,979		2,100	2,118	2,137	2,157	2,177	2,199	2,221	2,244						
4	2,088	2,061	2,036	2,011	1,988	1,966	1,944	1,924		2,102	2,131	2,162	2,195	2,229	2,266	2,306	2,348						
3	2,083	2,036	1,994	1,954	1,918	1,884	1,853	1,823	2,108	2,161	2,221	2,287	2,361	2,446	2,543	2,657							
2	2,068	1,971	1,890	1,821	1,762	1,709	1,663	1,622	2,124	2,257	2,429	2,665	3,025	3,725									
1	1,994	1,722	1,559	1,448	1,367	1,304	1,254	1,213	2,221	3,485													
MAX						2,095		MIN		1,213		MAX						3,725		MIN		2,096	

Таблица Б.3 – Значение коэффициентов для 6-ти осной платформы ($L_{BH}=5500$, $L_{OCB}=1750$)

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29
15	3,142	3,139	3,136	3,133	3,130	3,127	3,124	3,121	3,143	3,144	3,147	3,150	3,153	3,156	3,159	3,162	3,165
14	3,142	3,139	3,135	3,132	3,128	3,125	3,122	3,118		3,144	3,147	3,151	3,154	3,158	3,161	3,165	3,168
13	3,142	3,138	3,134	3,130	3,126	3,122	3,118	3,114		3,144	3,148	3,152	3,156	3,160	3,164	3,168	3,172
12	3,142	3,137	3,132	3,128	3,123	3,119	3,114	3,110		3,144	3,149	3,153	3,158	3,163	3,168	3,173	3,178
11	3,141	3,136	3,130	3,125	3,119	3,114	3,109	3,103		3,144	3,150	3,156	3,161	3,167	3,173	3,179	3,184
10	3,141	3,134	3,128	3,121	3,115	3,108	3,102	3,095		3,145	3,151	3,158	3,165	3,172	3,179	3,186	3,193
9	3,141	3,132	3,124	3,116	3,108	3,100	3,092	3,085		3,145	3,153	3,162	3,170	3,179	3,188	3,197	3,206
8	3,140	3,130	3,119	3,109	3,099	3,089	3,079	3,070		3,146	3,156	3,167	3,178	3,189	3,200	3,212	3,223
7	3,139	3,126	3,112	3,099	3,086	3,074	3,061	3,049		3,146	3,160	3,174	3,189	3,204	3,219	3,234	3,249
6	3,138	3,120	3,102	3,084	3,067	3,050	3,033	3,017		3,148	3,167	3,186	3,206	3,227	3,248	3,269	3,292
5	3,136	3,110	3,084	3,060	3,036	3,012	2,990	2,968		3,150	3,177	3,206	3,236	3,267	3,299	3,332	3,366
4	3,132	3,092	3,053	3,016	2,981	2,947	2,915	2,884		3,153	3,197	3,244	3,293	3,345	3,401	3,460	3,523
3	3,124	3,054	2,990	2,930	2,875	2,824	2,776	2,732	3,162	3,243	3,332	3,431	3,544	3,672	3,820	3,994	
2	3,102	2,956	2,834	2,729	2,639	2,559	2,489	2,426	3,186	3,386	3,646	4,006	4,568	5,809			
1	2,990	2,578	2,330	2,160	2,035	1,938	1,860	1,796	3,332	5,343							
MAX 3,142 MIN 1,796 MAX 5,809 MIN 3,144																	

Таблица Б.4 – Значение коэффициентов для 8-ми осного локомотива ($L_{BH}=3400$, $L_{OCB}=2100$)

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29
15	1,618	1,613	1,608	1,603	1,599	1,594	1,589	1,585	1,619	1,619	1,620	1,621	1,622	1,622	1,623	1,624	1,625
14	1,618	1,615	1,611	1,607	1,604	1,600	1,597	1,594		1,619	1,620	1,621	1,622	1,623	1,624	1,625	1,626
13	1,618	1,616	1,613	1,610	1,607	1,605	1,602	1,599		1,619	1,620	1,621	1,622	1,624	1,625	1,626	1,627
12	1,618	1,616	1,614	1,612	1,610	1,608	1,606	1,603		1,619	1,621	1,622	1,623	1,624	1,626	1,627	1,628
11	1,619	1,617	1,615	1,613	1,612	1,610	1,608	1,606		1,619	1,621	1,622	1,624	1,625	1,627	1,628	1,630
10	1,619	1,617	1,616	1,614	1,613	1,611	1,610	1,609		1,619	1,621	1,623	1,625	1,627	1,629	1,630	1,632
9	1,619	1,618	1,616	1,615	1,614	1,613	1,611	1,610		1,620	1,622	1,624	1,626	1,629	1,631	1,633	1,635
8	1,619	1,618	1,617	1,616	1,615	1,614	1,613	1,611		1,620	1,623	1,625	1,628	1,631	1,634	1,637	1,640
7	1,619	1,618	1,617	1,616	1,615	1,614	1,613	1,613		1,620	1,624	1,627	1,631	1,635	1,639	1,643	1,646
6	1,619	1,618	1,617	1,616	1,616	1,615	1,614	1,613		1,620	1,625	1,630	1,636	1,641	1,646	1,651	1,657
5	1,619	1,618	1,617	1,617	1,616	1,615	1,615	1,614		1,621	1,628	1,635	1,643	1,651	1,659	1,667	1,675
4	1,619	1,618	1,618	1,617	1,616	1,616	1,615	1,615		1,622	1,633	1,645	1,657	1,670	1,683	1,697	1,711
3	1,619	1,618	1,618	1,617	1,617	1,616	1,616	1,615	1,624	1,645	1,667	1,690	1,715	1,742	1,771	1,803	
2	1,619	1,618	1,618	1,617	1,617	1,616	1,616	1,615	1,630	1,680	1,737	1,805	1,887	1,989	2,123	2,313	
1	1,619	1,618	1,618	1,618	1,617	1,617	1,616	1,616	1,667	1,961	3,259						
MAX 1,619 MIN 1,585									MAX 3,259 MIN 1,619								

Таблица Б.5 – Значение коэффициентов для 8-ми осного полувагона ($L_{BH}=2730$, $L_{OCB}=1850$)

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																	
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29	
15	1,475	1,471	1,467	1,464	1,460	1,457	1,453	1,450	1,476	1,476	1,476	1,477	1,478	1,478	1,479	1,479	1,480	
14	1,475	1,472	1,470	1,467	1,464	1,462	1,459	1,456		1,476	1,477	1,477	1,478	1,479	1,479	1,480	1,480	1,481
13	1,475	1,473	1,471	1,469	1,467	1,465	1,463	1,461		1,476	1,477	1,477	1,478	1,479	1,480	1,480	1,481	1,482
12	1,475	1,474	1,472	1,470	1,469	1,467	1,465	1,464		1,476	1,477	1,478	1,479	1,480	1,480	1,481	1,482	1,483
11	1,475	1,474	1,473	1,471	1,470	1,469	1,467	1,466		1,476	1,477	1,478	1,479	1,480	1,480	1,482	1,483	1,484
10	1,475	1,474	1,473	1,472	1,471	1,470	1,469	1,468		1,476	1,477	1,479	1,480	1,480	1,481	1,483	1,484	1,486
9	1,475	1,475	1,474	1,473	1,472	1,471	1,470	1,469		1,476	1,478	1,479	1,481	1,483	1,483	1,485	1,486	1,488
8	1,475	1,475	1,474	1,473	1,472	1,472	1,471	1,470		1,476	1,478	1,480	1,483	1,483	1,485	1,487	1,489	1,491
7	1,476	1,475	1,474	1,473	1,473	1,472	1,471	1,471		1,476	1,479	1,482	1,485	1,488	1,488	1,491	1,493	1,496
6	1,476	1,475	1,474	1,474	1,473	1,473	1,472	1,471		1,477	1,480	1,484	1,488	1,492	1,492	1,496	1,500	1,504
5	1,476	1,475	1,474	1,474	1,473	1,473	1,472	1,472		1,477	1,483	1,488	1,494	1,500	1,500	1,505	1,511	1,518
4	1,476	1,475	1,475	1,474	1,474	1,473	1,473	1,472		1,478	1,486	1,495	1,504	1,514	1,514	1,524	1,534	1,544
3	1,476	1,475	1,475	1,474	1,474	1,473	1,473	1,473	1,479	1,495	1,511	1,529	1,547	1,547	1,566	1,587	1,609	
2	1,476	1,475	1,475	1,474	1,474	1,474	1,473	1,473	1,484	1,521	1,563	1,610	1,665	1,665	1,731	1,809	1,908	
1	1,476	1,475	1,475	1,475	1,474	1,474	1,474	1,473	1,511	1,713	2,169							
MAX 1,476 MIN 1,450									MAX 2,169 MIN 1,476									

Таблица Б.6 – Значение коэффициентов для межосевых расстояний 1850мм - 1350мм - 1850мм

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																				
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29				
15	1,000	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,004				
14	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996		1,000	1,001	1,001	1,002	1,003	1,003	1,004	1,005				
13	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996		1,000	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,005	1,006				
12	1,000	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995		1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,006	1,007				
11	1,000	0,999	0,998	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994		1,000	1,001	1,002	1,003	1,005	1,006	1,007	1,008				
10	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993		1,000	1,002	1,003	1,004	1,006	1,007	1,008	1,009				
9	1,000	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,992	0,991		1,000	1,002	1,004	1,005	1,007	1,008	1,010	1,012				
8	1,000	0,998	0,997	0,995	0,993	0,992	0,990	0,989		1,001	1,003	1,005	1,007	1,009	1,011	1,013	1,015				
7	0,999	0,997	0,995	0,993	0,991	0,990	0,988	0,986		1,001	1,003	1,006	1,009	1,011	1,014	1,017	1,020				
6	0,999	0,997	0,994	0,991	0,989	0,986	0,983	0,981		1,001	1,004	1,008	1,012	1,016	1,019	1,023	1,027				
5	0,999	0,995	0,991	0,987	0,984	0,980	0,976	0,973		1,001	1,006	1,012	1,017	1,023	1,028	1,034	1,040				
4	0,998	0,992	0,986	0,981	0,975	0,969	0,964	0,959		1,002	1,010	1,019	1,027	1,037	1,046	1,056	1,066				
3	0,997	0,987	0,976	0,967	0,957	0,948	0,940	0,932	1,004	1,018	1,034	1,051	1,069	1,089	1,110	1,132					
2	0,994	0,971	0,950	0,931	0,914	0,898	0,883	0,870	1,008	1,044	1,085	1,134									
1	0,976	0,902	0,849	0,808	0,776	0,750	0,728	0,709	1,034												
		MAX				1,000		MIN		0,709		MAX				1,134		MIN		1,000	

Таблица Б.7 – Значение коэффициентов для межосевых расстояний 2100мм - 2100мм - 2100мм

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																				
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29				
15	1,000	0,999	0,998	0,997	0,997	0,996	0,995	0,994	1,000	1,000	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,005	1,005				
14	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,994		1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,005	1,006				
13	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993		1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,006	1,007				
12	1,000	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,992	0,991		1,000	1,001	1,003	1,004	1,005	1,006	1,007	1,009				
11	1,000	0,998	0,997	0,995	0,994	0,992	0,991	0,990		1,000	1,002	1,003	1,005	1,006	1,007	1,009	1,010				
10	1,000	0,998	0,996	0,994	0,993	0,991	0,989	0,988		1,000	1,002	1,004	1,006	1,007	1,009	1,011	1,012				
9	0,999	0,997	0,995	0,993	0,991	0,989	0,987	0,985		1,001	1,003	1,005	1,007	1,009	1,011	1,013	1,016				
8	0,999	0,997	0,994	0,991	0,989	0,986	0,983	0,981		1,001	1,003	1,006	1,009	1,011	1,014	1,017	1,020				
7	0,999	0,996	0,992	0,989	0,985	0,982	0,978	0,975		1,001	1,004	1,008	1,011	1,015	1,019	1,022	1,026				
6	0,999	0,994	0,989	0,985	0,980	0,976	0,971	0,967		1,001	1,006	1,011	1,016	1,021	1,026	1,031	1,036				
5	0,998	0,991	0,985	0,978	0,972	0,965	0,959	0,954		1,002	1,009	1,016	1,023	1,030	1,038	1,046	1,054				
4	0,997	0,987	0,976	0,967	0,957	0,948	0,939	0,931		1,003	1,013	1,025	1,037	1,049	1,062	1,076	1,090				
3	0,995	0,977	0,959	0,943	0,928	0,914	0,901	0,889	1,005	1,024	1,046	1,069	1,095	1,123	1,153						
2	0,989	0,950	0,917	0,888	0,862	0,840	0,819	0,801	1,011	1,059	1,117										
1	0,959	0,845	0,773	0,722	0,685	0,655	0,631	0,611	1,046												
MAX					1,000		MIN		0,611		MAX					1,153		MIN		1,000	

Таблица Б.8 – Значение коэффициентов для межосевых расстояний 1750мм - 1750мм

Скорость, м/с	Ускорение, м/с ²																				
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29				
15	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,998	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001	1,001	1,002	1,002	1,002				
14	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,998	0,997		1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,002	1,003				
13	1,000	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997		1,000	1,001	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,003				
12	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,997		1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,003	1,004				
11	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996		1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,004				
10	1,000	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995		1,000	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,004	1,005				
9	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995	0,994		1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,005	1,006				
8	1,000	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992		1,000	1,001	1,002	1,004	1,005	1,006	1,007	1,008				
7	1,000	0,998	0,997	0,995	0,994	0,993	0,991	0,990		1,000	1,002	1,003	1,005	1,006	1,008	1,009	1,011				
6	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,988	0,986		1,000	1,002	1,004	1,006	1,008	1,010	1,013	1,015				
5	0,999	0,997	0,994	0,991	0,988	0,986	0,983	0,981		1,001	1,004	1,006	1,009	1,012	1,015	1,018	1,021				
4	0,999	0,995	0,990	0,986	0,982	0,978	0,974	0,971	1,001	1,006	1,010	1,015	1,020	1,024	1,029	1,034					
3	0,998	0,991	0,983	0,976	0,969	0,963	0,957	0,950	1,002	1,010	1,018	1,027	1,036	1,046	1,055	1,066					
2	0,996	0,979	0,964	0,950	0,937	0,925	0,914	0,903	1,004	1,023	1,044	1,067									
1	0,983	0,928	0,886	0,852	0,825	0,802	0,783	0,766	1,018												
		MAX				1,000		MIN		0,766		MAX				1,067		MIN		1,000	

Таблица Б.9 – Значение коэффициентов для межосевых расстояний 2100мм - 2100мм

Скорость, м/с	Ускорение, м/с²																				
	0,01	0,05	0,09	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,00	-0,01	-0,05	-0,09	-0,13	-0,17	-0,21	-0,25	-0,29				
15	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,998	0,997	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,002	1,003				
14	1,000	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997		1,000	1,001	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,003	1,003			
13	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,996		1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,003	1,003	1,004			
12	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996		1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,004	1,004			
11	1,000	0,999	0,998	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995		1,000	1,001	1,002	1,002	1,003	1,004	1,004	1,004	1,005			
10	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,996	0,995	0,994		1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,004	1,004	1,005	1,006			
9	1,000	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,994	0,993		1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,004	1,006	1,007	1,008			
8	1,000	0,998	0,997	0,996	0,994	0,993	0,992	0,991		1,000	1,002	1,003	1,004	1,004	1,006	1,007	1,008	1,010			
7	1,000	0,998	0,996	0,995	0,993	0,991	0,990	0,988		1,000	1,002	1,004	1,006	1,007	1,007	1,009	1,011	1,013			
6	0,999	0,997	0,995	0,993	0,990	0,988	0,986	0,984		1,001	1,003	1,005	1,008	1,010	1,010	1,013	1,015	1,018			
5	0,999	0,996	0,993	0,989	0,986	0,983	0,980	0,977		1,001	1,004	1,008	1,011	1,015	1,015	1,018	1,022	1,026			
4	0,999	0,994	0,989	0,984	0,979	0,974	0,970	0,965		1,001	1,007	1,012	1,018	1,024	1,024	1,030	1,036	1,042			
3	0,998	0,989	0,980	0,972	0,964	0,956	0,949	0,942	1,002	1,012	1,022	1,033	1,044	1,044	1,056	1,069	1,082				
2	0,995	0,975	0,958	0,942	0,927	0,913	0,900	0,889	1,005	1,028	1,054	1,083									
1	0,980	0,916	0,870	0,834	0,805	0,782	0,762	0,745	1,022												
		MAX				1,000		MIN		0,745		MAX				1,083		MIN		1,000	

Листинг имитационной модели одноточечного метода идентификации подвижного состава

```

{06.01.12 Одна точка. Получение результатов
Проверка коэффициента}
uses crt, tpstring;
var
V0, w, V1, a, da, Svn, Sos, Tn,
    tn12, tn34, tn23, tn13, tn45, tn14, tz, d1, d2, d3, d4, d5,
sig:real;
i, osh, osh1, osh2, osh3:integer;
f:text;
Function Gauss(Mo :float; {Математическое ожидание}
               Sigma :float {Среднее квадратическое отклонение}
               ) :float;
var
    a,b,r,sq :float;
begin
    repeat
        a:=2*Random-1.0;
        b:=2*Random-1.0;
        r:=Sqr(a)+Sqr(b);
    until r < 1;
    sq:=Sqrt(-2.0*Ln(r)/r);
    Gauss:=Mo+Sigma*a*sq
end;{function Gauss}

BEGIN
clrscr;
w:=0;
Assign(f, 'd:\mod.txt');
Rewrite(f);
{V0-начальная скорость(1-20);
 a- ускорение(-0.4-0, 0.01-0.4-0.04);
}
{ анализируемые подвижные единицы
4-x 4020 1850
6-l 4400 4200 2100-2100
6-v 5500 3500 1750-1750
8-l 3400 6300 2100-2100-2100
8-v 2730 5050 1850-1350-1850
12-t 12645 1525*6
20-t 14560 1210-1360
}
Randomize;
Svn:=2.73;
Sos:=1.85;
V0:=15;
a:=0.01;
da:=0.04;
sig:=0.01;
while sig<=0.01 do

```

```

begin
V0:=15;
while V0>=1 do
  Begin
    a:=0.01;
    while a<=0.3 do
      Begin
        if (SQR(V0)+2*a*(Sos*4+1.35*2+Svn))>0 then
          Begin
            for i:=1 to 1000 do
              begin
                d1:=Gauss(0,sig);
                d2:=Gauss(Sos,sig);
                d3:=Gauss(1.35+Sos,sig);
                d4:=Gauss(1.35+2*Sos,sig);
                d5:=Gauss(1.35+2*Sos+Svn,sig);
                tn12:=(-V0+SQRT(SQR(V0)+2*a*(d2-d1)))/a;
                V1:=V0+a*tn12;
                tn23:=(-V1+SQRT(SQR(V1)+2*a*(d3-d2)))/a;
                tn13:=(-V0+SQRT(SQR(V0)+2*a*(d3-d1)))/a;
                V1:=V0+a*tn13;
                tn34:=(-V1+SQRT(SQR(V1)+2*a*(d4-d3)))/a;
                tn14:=(-V0+SQRT(SQR(V0)+2*a*(d4-d1)))/a;
                V1:=V0+a*tn14;
                tn45:=(-V1+SQRT(SQR(V1)+2*a*(d5-d4)))/a;
                if (tn45<tn34*1.183) or (tn23>tn12*1.183) or (tn34>tn12
*1.183) then
                  osh:=osh+1;
                  if (tn45<tn34*1.183) then
                    osh2:=osh2+1;
                  if (tn34>tn12*1.183) then
                    osh1:=osh1+1;
                  if (tn23>tn12*1.183) then
                    osh2:=osh2+1;
                  end;
                end;
              end;
            a:=a+da;
          End;
          V0:=V0-1;
        End;
      writeln(f,sig:7:3, osh:7, osh1:7, osh2:7, osh3:7);
      osh:=0;
      osh1:=0;
      osh2:=0;
      osh3:=0;
      sig:=sig+0.001;
    end;
    Close(f);
  END.

```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программы, реализующей имитационную модель
двухточечного метода идентификации подвижных единиц

```

// Имитационная модель метода определения
количества и осности подвижных
// единиц в отцепе с использованием двух
контрольных точек.
// Программист: Егоров Олег.
// Форма отображения и управления процесса
движения отцепа
// по контрольному участку
unit ShowModel;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics
  , Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls, Buttons, lmdcompo,
  lmdclass, lmdmmS;
type
  TfrShowModel = class(TForm)
    ImCars: TImage;
    btStart: TButton;
    btStop: TButton;
    ImContrPoints: TImage;
    ShMain1: TEdit;
    BitBtn1: TBitBtn;
    btWay: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label5: TLabel;
    ShTel1: TEdit;
    ShCars1: TEdit;
    ShMain2: TEdit;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    ShTel2: TEdit;
    ShCars2: TEdit;
    Shape1: TShape;
    TimerDel: TLMDDHiTimer;
    Edit1: TEdit;
    TriggerT: TEdit;
    procedure btWayClick(Sender: TObject);
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure TimerDelTimer(Sender: TObject);
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
    procedure btStopClick(Sender: TObject);
    procedure btStartClick(Sender: TObject);
    procedure FormClose(Sender: TObject; var
Action: TCloseAction);
    private
      { Private declarations }
    public
      {Процедуры графического построения вагонов
отцепа}
    procedure BioldCar(X,N:integer);
    procedure BioldCars4(X,LIn,LOut:integer);
    procedure BioldCars6(X,LIn,LOut,
LAxisT:integer);
    procedure BioldCars8(X,LIn,LOut:integer);
    procedure Distomine(N:integer);
    {Процедура определения моментов наезда осями
на КТ}
    procedure InterSub(X:integer);
    {Алгоритмы обработки наездов на КТ}
    procedure AlgKT1;
    procedure AlgKT2;
    { Public declarations }
  end;
  Const K=10;
  var
    frShowModel: TfrShowModel;
    F,LCar1,LCar2,QuantityAxis,KoordKT1,KoordKT2,
Os1,Os2:integer;
    {LCar1,LCar2 - длина1-го и 2-го вагонов
F - направление движения}
    {KoordKT1,KoordKT2 - Координаты контрольных
точек}
    KoordOs:ARRAY[1..20] of integer;
    {Вектор координат осей}
    {QuantityAxis - Общее количество осей в отцепе}
    {Os1,Os2- определенная осьность вагонов}
  implementation
uses ParamCars;
{$R *.DFM}
{Процедура изменения направления движения
отцепа}
procedure TfrShowModel.btWayClick(Sender:
TObject);
begin
  Writeln(Output,'ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ
');
  if btWay.Caption='НАПРАВЛЕНИЕ ==>' then
  begin
    btWay.Caption:='НАПРАВЛЕНИЕ <==';
    F:=-1;
    Writeln(Output,'НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ <==');
  end
  else
  begin
    btWay.Caption:='НАПРАВЛЕНИЕ ==>';
    F:=1;
    Writeln(Output,'НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ==>');
  end;
end;

procedure TfrShowModel.BitBtn1Click(Sender:
TObject);
begin
  frParamCars.Enabled:=true;
  Close;
end;

procedure TfrShowModel.TimerDelTimer(Sender:
TObject);
begin
  with ImCars do
  begin
    Left:=Left+F;
    InterSub(Left);
    Edit1.Text:=IntToStr(Left);
  end;
end;

{X-координата начала вагона, N-номер вагона}
procedure TfrShowModel.BioldCar(X,N: Integer);
begin
  with frParamCars do
  case N of
    1: Case StrToInt(QuanAxis1.Text) of
      4: BioldCars4(X,StrToInt(LIn1.Text),
StrToInt(LOut1.Text));
      6: BioldCars6(X,StrToInt(LIn1.Text),
StrToInt(LOut1.Text),
StrToInt(LAxisT1.Text));
      8: BioldCars8(X,StrToInt(LIn1.Text),
StrToInt(LOut1.Text));
    end;
    2: Case StrToInt(QuanAxis2.Text) of
      4: BioldCars4(X,StrToInt(LIn2.Text),
StrToInt(LOut2.Text));
      6: BioldCars6(X,StrToInt(LIn2.Text),
StrToInt(LOut2.Text),
StrToInt(LAxisT2.Text));
      8: BioldCars8(X,StrToInt(LIn2.Text),
StrToInt(LOut2.Text));
    end;
  end;
end;

{Прорисовка 4-х осного вагона}
procedure TfrShowModel.BioldCars4(X,LIn,LOut:
integer);
var Des:integer;
begin
  with ImCars.Canvas do begin
    brush.color:=clBlue;
    Des:=LIn+2*LOut+185*2;
    Rectangle(X,0,X+Des,80);
    brush.color:=clGray;
    Ellipse(X+LOut-10,80,X+LOut+10,100);
    Ellipse(X+LOut+185-10,80,X+LOut+10+185,100
);
    Ellipse(X+LOut-10+185+LIn,80,X+LOut+10+185+
LIn,100);
  end;
end;

```

```

        Ellipse(X+LOut-10+185+LIn+185,80,X+LOut+10+
185+LIn+185,100);
    End;
End;
{Прорисовка 6-ти осного вагона}
procedure TfrShowModel.BieldCars6(X,LIn,LOut,
LAxisT:integer);
Var Des:integer;
Begin
    with ImCars.canvas do begin
        brush.color:=clRed;
        Des:=LIn+LOut*2+LAxisT*4;
        Rectangle(X,0,X+Des,80);
        brush.color:=clGray;
        Ellipse(X+LOut-10,80,X+LOut+10,100);
        Ellipse(X+LOut+LAxisT-10,80,X+LOut+LAxisT+
10,100);
        Ellipse(X+LOut+LAxisT*2-10,80,X+LOut+LAxisT
*2+10,100);
        Ellipse(X+LOut+LAxisT*2+LIn-10,80,X+LOut+
LAxisT*2+LIn+10,100);
        Ellipse(X+LOut+LAxisT*3+LIn-10,80,X+LOut+
LAxisT*3+LIn+10,100);
        Ellipse(X+LOut+LAxisT*4+LIn-10,80,X+LOut+
LAxisT*4+LIn+10,100);
    End;
End;

{Прорисовка 8-ми осного вагона}
procedure TfrShowModel.BieldCars8(X,LIn,
LOut:integer);
Var Des:integer;
Begin
    with ImCars.canvas do begin
        brush.color:=clRed;
        Des:=LIn+LOut*2+505*2;
        Rectangle(X,0,X+Des,80);
        brush.color:=clGray;
        Ellipse(X+LOut-10,80,X+LOut+10,100);
        Ellipse(X+LOut+185-10,80,X+LOut+185+10,100
);
        Ellipse(X+LOut+185+135-10,80,X+LOut+185+135
+10,100);
        Ellipse(X+LOut+185*2+135-10,80,X+LOut+185*2
+135+10,100);
        Ellipse(X+LOut+185*2+135+LIn-10,80,X+LOut+
185*2+135+LIn+10,100);
        Ellipse(X+LOut+185*3+135+LIn-10,80,X+LOut+
185*3+135+LIn+10,100);
        Ellipse(X+LOut+185*3+135*2+LIn-10,80,X+LOut
+185*3+135*2+LIn+10,100);
        Ellipse(X+LOut+185*4+135*2+LIn-10,80,X+LOut
+185*4+135*2+LIn+10,100);
    End;
End;

procedure TfrShowModel.FormActivate(Sender:
TObject);
Var i:integer;
begin
    AssignFile(Output,'data.txt');
    rewrite(Output);
    Writeln(Output,'ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:');
    if frParamCars.rgQuanCars.ItemIndex=0 then
        Writeln(Output,'Количество вагонов в отцепе
',1)
    else
        Writeln(Output,'Количество вагонов в отцепе
',2);
    Writeln(Output,'Осность 1-го ',frParamCars.
QuanAxis1.Text);
    if frParamCars.rgQuanCars.ItemIndex=1 then
        Writeln(Output,'Осность 2-го ',frParamCars.
QuanAxis2.Text);
    writeln(Output,'Точка Сч1 СчТ1 СчВ1 Сч2
СчТ2 СчВ2 Т');
    F:=1;
    If frParamCars.rgQuanCars.ItemIndex=1 then
        Distomine(2)
    Else
        Distomine(1);
    ImCars.Left:=- (LCar1+LCar2);
    ImCars.Width:=LCar1+LCar2;
    {Заполнение массива координат осей }
    i:=1;
    with frParamCars do
        Begin
            case StrToInt(QuanAxis1.Text) of
                4: Begin
                    KoordOs[i]:=LCar1+LCar2-StrToInt(LOut1
.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(LIn1
.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                    End;
                6: Begin
                    KoordOs[i]:=LCar1+LCar2-StrToInt(LOut1
.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT1.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT1.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(LIn1
.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT1.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT1.Text);i:=i+1;
                    End;
                8: Begin
                    KoordOs[i]:=LCar1+LCar2-StrToInt(LOut1
.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-135;i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(LIn1
.Text);i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-135;i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-135;i:=i+1;
                    End;
            End;
            If rgQuanCars.ItemIndex=1 then
                Begin
                    KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(LOut1.
Text)-StrToInt(LOut2.Text);
                    i:=i+1;
                    case StrToInt(QuanAxis2.Text) of
                        4: Begin
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(LIn2
.Text);i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                            End;
                        6: Begin
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT2.Text);i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT2.Text);i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(LIn2
.Text);i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT2.Text);i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(
LAxisT2.Text);i:=i+1;
                            End;
                        8: Begin
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-135;i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-StrToInt(LIn2
.Text);i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-135;i:=i+1;
                            KoordOs[i]:=KoordOs[i-1]-185;i:=i+1;
                            End;
                    End;
                End;
            End;
        End;
    {Общее количество осей в отцепе}

```

```

    QuantityAxis:=i-1;
    {Прорисовка датчиков}
    with ImContrPoints.Canvas do
    Begin
        brush.color:=clBtnFace;
        FillRect(Rect(0,0,Width,Height));
        MoveTo(600,0);
        LineTo(590,20);
        LineTo(610,20);
        LineTo(600,0);
        MoveTo(600-StrToInt(frParamCars.Distomine.
Text),0);
        LineTo(590-StrToInt(frParamCars.Distomine.
Text),20);
        LineTo(610-StrToInt(frParamCars.Distomine.
Text),20);
        LineTo(600-StrToInt(frParamCars.Distomine.
Text),0);
        End;
        KoordKT1:=600-StrToInt(frParamCars.Distomine.
Text);
        KoordKT2:=600;
        with ImCars.Canvas do
        begin
            brush.color:=clBtnFace;
            FillRect(Rect(0,0,LCar1+LCar2,Height));
            end;
        If frParamCars.rgQuanCars.ItemIndex=1 then
        Begin
            BieldCar(0,2);
            BieldCar(LCar2,1);
            End
        Else
            BieldCar(0,1);
            TimerDel.Enabled:=true;
        end;

    procedure TfrShowModel.btStopClick(Sender:
TObject);
    begin
        TimerDel.Enabled:=false;
        btWay.Enabled:=true;
        Writeln(Output,'ОСТАНОВКА');
    end;

    procedure TfrShowModel.btStartClick(Sender:
TObject);
    begin
        btWay.Enabled:=false;
        TimerDel.Enabled:=true;
        Writeln(Output,'ДВИЖЕНИЕ');
    end;

    {Определение общей длины отцепы}
    procedure TfrShowModel.Distomine(N:integer);
    Begin
        with frParamCars do
            if N=1 then
                Begin
                    LCar1:=StrToInt(LOut1.Text)*2+StrToInt(
LIn1.Text);
                    case StrToInt(QuanAxis1.Text) of
                        4: LCar1:=LCar1+185*2;
                        6: LCar1:=LCar1+StrToInt(LAxisT1.Text)*4)-1);
                    ;
                        8: LCar1:=LCar1+505*2;
                    End;
                End
            else
                Begin
                    LCar1:=StrToInt(LOut1.Text)*2+StrToInt(
LIn1.Text);
                    LCar2:=StrToInt(LOut2.Text)*2+StrToInt(
LIn2.Text);
                    case StrToInt(QuanAxis1.Text) of
                        4: LCar1:=LCar1+185*2;
                        6: LCar1:=LCar1+StrToInt(LAxisT1.Text)*4)+1);
                    ;
                        8: LCar1:=LCar1+505*2;
                    End;
                    case StrToInt(QuanAxis2.Text) of
                        4: LCar2:=LCar2+185*2;
                        6: LCar2:=LCar2+StrToInt(LAxisT2.Text)*4
;
                        8: LCar2:=LCar2+505*2;
                    End;
                    End
                End
            End;

    procedure TfrShowModel.InterSub(X:integer);{X-
координата отцепы}
    Var i:integer;
    Begin
        For i:=1 to QuantityAxis do
            if ((X+KoordOs[i])=KoordKT1) then
                AlgKT1
            else
                if KoordOs[i]+X=KoordKT2 then
                    AlgKT2;
                End;

    procedure TfrShowModel.AlgKT1;
    Begin
        if F=1 then
            Begin
                ShMain1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShMain1.Text
)+1);
                if StrToInt(TriggerT.Text)=1 then
                    if ShCars1.Text=ShCars2.Text then
                        Begin
                            ShTel1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel1.
Text)-1);
                            if StrToInt(ShTel1.Text)=0 then
                                ShCars1.Text:=IntToStr(StrToInt(
ShCars1.Text)+1);
                                End
                            else
                                ShTel1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel1.
Text)+1)
                                else
                                    ShTel1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel1.Text
)+1)
                                    End
                                else
                                    Begin
                                        ShMain1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShMain1.Text
)-1);
                                        if StrToInt(TriggerT.Text)=1 then
                                            if ShCars1.Text=ShCars2.Text then
                                                ShTel1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel1.
Text)+1)
                                                else
                                                    if StrToInt(ShTel1.Text)=0 then
                                                        Begin
                                                            ShCars1.Text:=IntToStr(StrToInt(
ShCars1.Text)-1);
                                                            ShTel1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel1.
Text)+1);
                                                            End
                                                        else
                                                            ShTel1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel1.
Text)-1)
                                                            else
                                                                ShTel1.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel1.Text
)+1)
                                                                End;
                                                            Writeln(Output,'KT1 - ',ShMain1.Text:5,ShTel1.
Text:5,ShCars1.Text:6,
                                                                ShMain2.Text:5,ShTel2.Text:6,ShCars2.
Text:6,TriggerT.Text:2);
                                                            End;

    procedure TfrShowModel.AlgKT2;
    Begin
        if F=1 then
            Begin
                ShMain2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShMain2.Text
)+1);
                if StrToInt(TriggerT.Text)=1 then
                    Begin
                        ShTel2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel2.Text
)-1);

```

```

        if StrToInt(ShTel2.Text)=0 then
            Begin
                TriggerT.Text:='0';
                ShCars2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShCars2.
Text)+1);
            End
        End
    else
        Begin
            ShTel2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel2.Text
)+1);
            if ShTel2.Text=ShTel1.Text then
                Begin
                    TriggerT.Text:='1';
                    if ShCars1.Text='0' then
                        Os1:=StrToInt(ShTel1.Text)
                    else
                        Os2:=StrToInt(ShTel1.Text);
                    End;
                End;
            End
        else
            Begin
                ShMain2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShMain2.Text
)-1);
                if StrToInt(TriggerT.Text)=1 then
                    if ShTel2.Text<>ShTel1.Text then
                        ShTel2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel2.
Text)+1)
                    else
                        if ShCars2.Text=ShCars1.Text then
                            Begin
                                TriggerT.Text:='0';
                                ShTel2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel2.
Text)-1)
                            End
                        else
                            ShTel2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel2.
Text)+1)
                        else
                            if StrToInt(ShTel2.Text)=0 then
                                Begin
                                    TriggerT.Text:='1';
                                    ShCars2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShCars2.
Text)-1);
                                    ShTel2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel2.
Text)+1);
                                End
                            else
                                ShTel2.Text:=IntToStr(StrToInt(ShTel2.
Text)-1);
                                End;
                                Writeln(Output,'KT2 - ',ShMain1.Text:5,ShTel1.
Text:5,ShCars1.Text:6,
                                    ShMain2.Text:5,ShTel2.Text:6,ShCars2.
Text:6,TriggerT.Text:2);
                                End;

procedure TfrShowModel.FormClose(Sender: TObject
;
    var Action: TCloseAction);
begin
    Writeln(Output,'РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ:');
    if (ShMain1.Text<>ShMain2.Text) or
        (ShTel1.Text<>ShTel2.Text) or
        (ShCars1.Text<>ShCars2.Text) then
        Writeln(Output,'Моделирование не закончено
. Процесс принудительно прерван.')
    else
        Begin
            Writeln(Output,'Количество вагонов в
отцепе ',ShCars2.Text);
            Writeln(Output,'Осность 1-го ',Os1*2:5);
            Writeln(Output,'Осность 2-го ',Os2*2:5);
            end;
            CloseFile(Output);
            TimerDel.Enabled:=false;
            ImCars.Width:=0;
            ImCars.Left:=0;
            LCar1:=0;
            LCar2:=0;
            QuantityAxis:=0;
            KoordKT1:=0;
            KoordKT2:=0;
            ShMain1.Text:='0';
            ShMain2.Text:='0';
            ShTel1.Text:='0';
            ShTel2.Text:='0';
            ShCars1.Text:='0';
            ShCars2.Text:='0';
            TriggerT.Text:='0';
            btWay.Caption:='НАПРАВЛЕНИЕ ==>';
            F:=1;
        end;
    end.

```


ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Графики погрешности определения межосевого расстояния

Рисунок Г.2 – График зависимости $\sigma_{\Delta S}$ от σ_{∂} при варьирование a

Рисунок Г.7 – График зависимости $\sigma_{\Delta S}$ от V при варьирование a
Рисунок Г.4 – График зависимости $\sigma_{\Delta S}$ от S при варьирование L

Рисунок Г.6 – График зависимости $\sigma_{\Delta S}$ от S при варьирование a

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Структура таблиц базы данных, используемых при
идентификации поезда и видеограммы форм имитационной модели
идентификации поезда

Таблица Д.1 – Структура таблицы характеристик подвижных единиц (таблица CARS)

№ п/п	Наименование поля	Тип данных	Описание поля
1	CARS_ID	INTEGER NOT NULL	Первичный ключ
2	COD	INTEGER	Условный код
3	OS	INTEGER	Осноть
4	LSC	INTEGER	Расстояние от головки автосцепки до крайнего колеса
5	LVN	INTEGER	Расстояние между внутренними осями
6	LTEL	INTEGER	Расстояние между колесами внутри тележки
7	LVAG	INTEGER	Расстояние между крайними колесами
8	TYPECARS	VARCHAR(50)	Тип

Таблица Д.2 – Структура таблицы нумерации грузовых вагонов (таблица NUMCAR)

№ п/п	Наименование поля	Тип данных	Описание поля
1	NUMCAR_ID	INTEGER NOT NULL	Первичный ключ
2	COD	INTEGER	Условный код
3	Z1	VARCHAR(3)	Осноть
4	Z1	VARCHAR(3)	Расстояние от головки автосцепки до крайнего колеса
5	Z1	VARCHAR(3)	Расстояние между внутренними осями
6	Z1	VARCHAR(3)	Расстояние между колесами внутри тележки

Таблица Д.3 – Структура таблицы списка поездов (таблица TRAIN)

№ п/п	Наименование поля	Тип данных	Описание поля
1	TRAIN_ID	INTEGER NOT NULL	Первичный ключ
2	TRAIN_CODE	INTEGER	Внутренний код (номер) поезда

Таблица Д.4 – Структура таблицы списка вагонов для каждого поезда (таблица TRAINCAR)

№ п/п	Наименование поля	Тип данных	Описание поля
1	TRAINCAR_ID	INTEGER NOT NULL	Первичный ключ
2	TRAIN_ID	INTEGER NOT NULL REFERENCES TRAIN	Поле связи с таблицей TRAIN
3	NUMCAR	CHAR(8)	8-ми значный номер вагона
4	NPP	VARCHAR(3)	Порядковый номер вагона

1850	1830	20	2,56819	2,76923	2,96759	0,12199	0,12281	0,12374
1350	1338	12	2,65743	2,85926	3,05688	0,08924	0,09003	0,08928
1850	1863	13	2,78162	2,98196	3,17999	0,12419	0,12271	0,12312
7020	7018	2	3,24762	3,44953	3,64701	0,46600	0,46756	0,46702
1850	1861	11	3,37161	3,57149	3,76956	0,12399	0,12197	0,12255
1350	1336	14	3,46065	3,66085	3,85917	0,08905	0,08936	0,08961
1850	1859	9	3,58449	3,78461	3,98378	0,12384	0,12376	0,12461
3270	3258	12	3,80131	4,00245	4,20068	0,21682	0,21784	0,21690
1850	1845	5	3,92417	4,12588	4,32415	0,12286	0,12342	0,12347
6800	6811	11	4,37619	4,57679	4,77526	0,45202	0,45091	0,45111
1850	1860	10	4,50003	4,70009	4,89784	0,12385	0,12331	0,12258
3420	3418	2	4,72733	4,92826	5,12518	0,22730	0,22816	0,22734
1850	1846	4	4,85020	5,05084	5,24892	0,12287	0,12259	0,12374
6800	6802	2	5,30133	5,50229	5,70021	0,45113	0,45145	0,45129
1850	1851	1	5,42448	5,62476	5,82273	0,12315	0,12247	0,12252

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Листинг программы, реализующей имитационную модель
идентификации поезда с использованием ТГНЛ


```

    NS:=NS+1;
    MasS[NS]:=qSelCarsLsc.Value;
End;
for i:=1 to NS-1 do
    mmS.Lines.Add(IntToStr(MasS[i]));
// Формирование моментов времени
// Ошибка датчика
Randomize;
V0:=StrToInt(edV.Text);
A:=StrToFloat(edA.Text);
L:=StrToInt(edL.Text);
for j:=1 to 3 do
    for i:=1 to NS-1 do
        ErrorPoint[j,i]:=Gauss(0,StrToInt(edSKO.Text))/1000;
// формирование времен
for j:=1 to 3 do
    Begin
        V:=V0;
        for i:=1 to NS-1 do
            Begin
                dTimePoint[j,i]:=(-V+SQRT(SQR(V)+2*A*(MasS[i]/1000-
ErrorPoint[j,i]+ErrorPoint[j,i+1])))/A;
                V:=V+A*dTimePoint[j,i]
            End;
            T:=(-V+SQRT(SQR(V)+2*A*(L-ErrorPoint[j,1]+ErrorPoint[j+1,1])))
/A;
            V0:=V0+A*T;
            End;
            TimePoint[1,1]:=0;
            TimePoint[2,1]:=(-StrToInt(edV.Text)+SQRT(SQR(StrToInt(edV.Text
)))+2*A*(L-ErrorPoint[1,1]+ErrorPoint[2,1]))/A;;
            TimePoint[3,1]:=(-StrToInt(edV.Text)+SQRT(SQR(StrToInt(edV.Text
)))+2*A*(2*L-ErrorPoint[1,1]+ErrorPoint[3,1]))/A;;
for j:=1 to 3 do
    for i:=2 to NS-1 do
        TimePoint[j,i]:=TimePoint[j,i-1]+dTimePoint[j,i];
for i:=1 to NS-1 do
    Begin
        mmdTD1.Lines.Add(FormatFloat('#0.00000',dTimePoint[1,i]));
        mmdTD2.Lines.Add(FormatFloat('#0.00000',dTimePoint[2,i]));
        mmdTD3.Lines.Add(FormatFloat('#0.00000',dTimePoint[3,i]));
        mmTD1.Lines.Add(FormatFloat('#0.00000',TimePoint[1,i]));
        mmTD2.Lines.Add(FormatFloat('#0.00000',TimePoint[2,i]));
        mmTD3.Lines.Add(FormatFloat('#0.00000',TimePoint[3,i]));
    End;
// Вычисление межосевых расстояний
//1-й датчик
t12:=TimePoint[2,1]-TimePoint[1,1];
t23:=TimePoint[3,1]-TimePoint[2,1];
Aopr:=2*L*(t12-t23)/(t12*t23*(t12+t23));
Vopr:=L*(sqr(t23)-Sqr(t12)+2*t12*t23)/(t12*t23*(t12+t23));
for i:=1 to NS-1 do
    Begin
        Sopr[i]:=Vopr*dTimePoint[1,i]+Aopr*SQR(dTimePoint[1,i])/2;
        Vopr:=Vopr+A*dTimePoint[1,i];
        mmSopr.Lines.Add(FormatFloat('#0',Sopr[i]*1000));
        mmdS.Lines.Add(FormatFloat('#0',Abs((Sopr[i]*1000)-MasS[i])));
    End;
//2-й датчик
t12:=TimePoint[2,2]-TimePoint[1,2];
t23:=TimePoint[3,2]-TimePoint[2,2];
Aopr:=2*L*(t12-t23)/(t12*t23*(t12+t23));
Vopr:=L*(sqr(t23)-Sqr(t12)+2*t12*t23)/(t12*t23*(t12+t23));
for i:=1 to NS-1 do
    Begin
        Sopr2[i]:=Vopr*dTimePoint[2,i]+Aopr*SQR(dTimePoint[2,i])/2;
        Vopr:=Vopr+A*dTimePoint[2,i];
// mmSopr.Lines.Add(FormatFloat('#0',Sopr2[i]*1000));
// mmdS.Lines.Add(FormatFloat('#0',Abs((Sopr2[i]*1000)-MasS[i
])));
    End;
//3-й датчик
t12:=TimePoint[2,3]-TimePoint[1,3];
t23:=TimePoint[3,3]-TimePoint[2,3];
Aopr:=2*L*(t12-t23)/(t12*t23*(t12+t23));
Vopr:=L*(sqr(t23)-Sqr(t12)+2*t12*t23)/(t12*t23*(t12+t23));
for i:=1 to NS-1 do
    Begin
        Sopr3[i]:=Vopr*dTimePoint[3,i]+Aopr*SQR(dTimePoint[3,i])/2;
        Vopr:=Vopr+A*dTimePoint[3,i];
// mmVn2.Lines.Add(FormatFloat('#0',Sopr[i]*1000));
// mmdS.Lines.Add(FormatFloat('#0',Abs((Sopr3[i]*1000)-MasS[i
])));
    End;
    m:=1.183;
    Nos1:=2;
    Nos2:=2;
    Nos3:=2;
    i:=1;
    j:=1;
// 1-й датчик - расчет осности
while i<=NS-1 Do
    Begin
        if dTimePoint[1,i]*m>dTimePoint[1,i+Nos1-1] then
            Begin
                Nos1:=Nos1+1;
            End
        else
            Begin
                mmVn1.Lines.Add(IntToStr(Trunc(Sopr[i+Nos1-1]*1000))+ ' ' +
IntToStr(Nos1*2));
                Mas_i_Lvn[j]:=i+Nos1-1;
                j:=j+1;
                If Nos1=2 Then i:=i+Nos1*2;
                If Nos1=3 Then i:=i+Nos1*2;
                If Nos1=4 Then i:=i+Nos1*2;
                Nos1:=2
            End
        End;
        mmVn1.Lines.Add(IntToStr(mmVn1.Lines.Count));
        i:=1;
// 2-й датчик - расчет осности
while i<=NS-1 Do
    Begin
        if dTimePoint[2,i]*m>dTimePoint[2,i+Nos2-1] then
            Begin
                Nos2:=Nos2+1;
            End
        else
            Begin
                mmVn2.Lines.Add(IntToStr(Trunc(Sopr2[i+Nos1-1]*1000))+ ' ' +
IntToStr(Nos2*2));
                If Nos2=2 Then i:=i+Nos2*2;
                If Nos2=3 Then i:=i+Nos2*2;
                If Nos2=4 Then i:=i+Nos2*2;
                Nos2:=2
            End
        End;
        mmVn2.Lines.Add(IntToStr(mmVn2.Lines.Count));
        i:=1;
// 3-й датчик - расчет осности
while i<=NS-1 Do
    Begin
        if dTimePoint[3,i]*m>dTimePoint[3,i+Nos3-1] then
            Begin
                Nos3:=Nos3+1;
            End
        else
            Begin
                mmVn3.Lines.Add(IntToStr(Trunc(Sopr3[i+Nos1-1]*1000))+ ' ' +
IntToStr(Nos3*2));
                If Nos3=2 Then i:=i+Nos3*2;
                If Nos3=3 Then i:=i+Nos3*2;
                If Nos3=4 Then i:=i+Nos3*2;
                Nos3:=2
            End
        End;
        mmVn3.Lines.Add(IntToStr(mmVn3.Lines.Count));
// Вычисление возможных значений межосевых расстояний
init('experiment.dat'); // загрузка коэффициентов
{mmVn3.Lines.Clear;
for i:=1 to NS-1 do
    Begin
        mmVn3.Lines.Add(IntToStr(MasS[i])+ ' ' +
        FormatFloat('#0',Sopr[i]*1000))+ ' ' +
        FormatFloat('#0',MasS[i]-Sopr[i]*1000))+ ' ' +
        FormatFloat('#0.00',count(6,0.01,Sopr[i]*1000));
        if abs(MasS[i]-Sopr[i]*1000)>count(6,0.01,Sopr[i])*3000 Then
            Begin

```

```

    mmVn3.Lines.Add('-----');
End;
End;
}
//Определение кодов вагонов
for i:=1 to mmVn3.Lines.Count-1 do
Begin
qSelCodeCar.Close;
qSelCodeCar.Params[0].AsInteger:=
Trunc(Sopr[Mas_i_Lvn[i]]*1000-3*count(StrToInt(edL.Text),
StrToInt(edSKO.Text)/1000,Sopr[Mas_i_Lvn[i]]*1000);
qSelCodeCar.Params[1].AsInteger:=
Trunc(Sopr[Mas_i_Lvn[i]]*1000+3*count(StrToInt(edL.Text),
StrToInt(edSKO.Text)/1000,Sopr[Mas_i_Lvn[i]]*1000);
qSelCodeCar.Params[2].AsInteger:= StrToInt(Copy(mmVn1.Lines.
Strings[i-1],Pos(' ', mmVn1.Lines.Strings[i-1])+2,1));
qSelCodeCar.Open;
Scod:='';
if qSelCodeCar.Eof then
Scod:='ERROR'
else
while not qSelCodeCar.Eof do
Begin
Scod:=Scod+IntToStr(qSelCodeCar.Cod.Value)+' ';
qSelCodeCar.Next;
End;
mmCod.Lines.Add(Scod);
MasScod[i]:=Scod;
End;
mmCod.Lines.Add(IntToStr(mmCod.Lines.Count));
// Определение вагонов поездов на подходе
//Формирование вектора номеров вагонов
for i:=1 to StrToInt(edN.Text) do
begin
flag:=true;
while flag do
Begin
MasCodTrain[i]:=Random(61);
flag:=false;
for j:=1 to i-1 do
if ((MasCodTrain[j]=MasCodTrain[i]) or (MasCodTrain[i]=
StrToInt(edNum.Text))) then
flag:=true;
End;
End;
//Формирование массива кодов вагонов для выбранных поездов
for i:=1 to StrToInt(edN.Text) do
Begin
Nos:=MasCodTrain[i];
qSelTrain.Close;
qSelTrain.Params[0].AsString:=IntToStr(MasCodTrain[i]);
qSelTrain.Open;
N:=0;
//Формирование списка кодов вагонов по из номерам
while not qSelTrain.Eof do
Begin
qSelNumCar.Close;
qSelNumCar.Params[0].AsString:=Copy(qSelTrainNumCar.Value,1
,1);
qSelNumCar.Open;
N:=N+1;
// Формируем 4 цифры номера
Z1:=Copy(qSelTrainNumCar.Value,1,1);
Z2:=Copy(qSelTrainNumCar.Value,2,1);
Z3:=Copy(qSelTrainNumCar.Value,3,1);
If Z1='5' Then
Z4:=Copy(qSelTrainNumCar.Value,4,1)
else
Z4:=Copy(qSelTrainNumCar.Value,7,1);
flag:=true;
while flag and not qSelNumCar.Eof do
Begin
flagZ2:=true;
flagZ3:=true;
flagZ4:=true;
if Length(qSelNumCarZ2.Value)=1 then
Begin if qSelNumCarZ2.Value=Z2 then flagZ2:=false End
else
if (StrToInt(Copy(qSelNumCarZ2.Value,1,1))<=StrToInt(Z2))
AND

```

```

(StrToInt(Copy(qSelNumCarZ2.Value,3,1))>=StrToInt(Z2))
then flagZ2:=false;
if Length(qSelNumCarZ3.Value)=1 then
Begin if qSelNumCarZ3.Value=Z3 then flagZ3:=false End
else
if (StrToInt(Copy(qSelNumCarZ3.Value,1,1))<=StrToInt(Z3))
AND
(StrToInt(Copy(qSelNumCarZ3.Value,3,1))>=StrToInt(Z3))
then flagZ3:=false;
if Length(qSelNumCarZ4.Value)=1 then
Begin if qSelNumCarZ4.Value=Z4 then flagZ4:=false End
else
if (StrToInt(Copy(qSelNumCarZ4.Value,1,1))<=StrToInt(Z4))
AND
(StrToInt(Copy(qSelNumCarZ4.Value,3,1))>=StrToInt(Z4))
then flagZ4:=false;
flag:=flagZ2 or flagZ3 or flagZ4;
if flag then qSelNumCar.Next;
End;
if flag Then
ShowMessage(IntToStr(k)+'-'+IntToStr(N)+' '+Z1+Z2+Z3+Z4);
MasCodTrainCar[i,N]:=qSelNumCar.Cod.Value;
qSelTrain.Next;
flag:=true;
End;
QuanCarTrain[i]:=N; // кол-во вагонов в каждом из поездов
End;
// определение количества попаданий для каждого поезда
for i:=1 to StrToInt(edN.Text)+1 do
Begin
miss:=0; hit:=0; flag:=true; j:=1; k:=1;
while flag and (j<=QuanCarTrain[i]) do
Begin
if (Pos(' '+IntToStr(MasCodTrainCar[i,j]),MasScod[k])+
Pos(IntToStr(MasCodTrainCar[i,j])+' ',MasScod[k]))<>0 then
hit:=hit+1
else
Begin
miss:=miss+1;
k:=k-1;
End;
k:=k+1;
j:=j+1;
if miss=3 then flag:=false
End;
MasHit[i]:=hit;
End;
SumHit:=0;
for i:=1 to StrToInt(edN.Text)+1 do
SumHit:=SumHit+MasHit[i];
for i:=1 to StrToInt(edN.Text)+1 do
Begin
mmRez.Lines.Add('Поезд № '+IntToStr(i)+' Код - '+IntToStr(
MasCodTrain[i])+
' Кол-во вагонов - '+IntToStr(QuanCarTrain[i]));
mmRez.Lines.Add('Кол-во попаданий - '+IntToStr(MasHit[i])+' %
- '+
FormatFloat('0.00',MasHit[i]/SumHit*100));
mmRez.Lines.Add('-----');
End;
end;

end.

unit results;

interface

const
Sko:array [1..3] of double = (0.002, 0.004, 0.006);
L :array [1..2] of double = (3, 6);
S :array [1..4] of double = (2, 5, 8, 11);

type
TCoefficient = record
value:double;
imp :boolean;
end;

```

```

function count(x1,x2,x3:double):double;
procedure init(FileName:String);

implementation

//uses procs;

var
  coef:array [0..23] of TCoefficient;
  gx1,gx2,gx3:double;

function p0:double;
begin
  result:=1;
end;

function p11:double;
begin
  result:=gx1;
end;

function p12:double;
begin
  result:=gx2;
end;

function p13:double;
begin
  result:=gx3;
end;

function p22:double;
begin
  result:=3*gx2*gx2-2;
end;

function p23:double;
begin
  result:=(gx3*gx3-5)/4;
end;

function p33:double;
begin
  result:=(5*gx3*gx3*gx3-41*gx3)/12;
end;

function count(x1,x2,x3:double):double;
var r:double;
begin
  r:=0;

  gx1:=(x1-(L[1]+L[2])/2)/((L[2]-L[1])/2);
  gx2:=(x2-(Sko[1]+Sko[2]+Sko[3])/3)/(Sko[2]-Sko[1]);
  gx3:=(x3-(S[1]+S[2]+S[3]+S[4])/4)/((S[2]-S[1])/2);

  if coef[0].imp then r:=r+p0*coef[0].value;

  if coef[1].imp then r:=r+p11*coef[1].value;
  if coef[2].imp then r:=r+p12*coef[2].value;
  if coef[3].imp then r:=r+p13*coef[3].value;
  if coef[4].imp then r:=r+p22*coef[4].value;
  if coef[5].imp then r:=r+p23*coef[5].value;
  if coef[6].imp then r:=r+p33*coef[6].value;

  if coef[7].imp then r:=r+p11*p12*coef[7].value;
  if coef[8].imp then r:=r+p11*p22*coef[8].value;
  if coef[9].imp then r:=r+p11*p13*coef[9].value;
  if coef[10].imp then r:=r+p11*p23*coef[10].value;
  if coef[11].imp then r:=r+p11*p33*coef[11].value;
  if coef[12].imp then r:=r+p12*p13*coef[12].value;
  if coef[13].imp then r:=r+p12*p23*coef[13].value;
  if coef[14].imp then r:=r+p12*p33*coef[14].value;
  if coef[15].imp then r:=r+p22*p13*coef[15].value;
  if coef[16].imp then r:=r+p22*p23*coef[16].value;
  if coef[17].imp then r:=r+p22*p33*coef[17].value;

  if coef[18].imp then r:=r+p11*p12*p13*coef[18].value;
  if coef[19].imp then r:=r+p11*p12*p23*coef[19].value;
  if coef[20].imp then r:=r+p11*p12*p33*coef[20].value;

```

```

  if coef[21].imp then r:=r+p11*p22*p13*coef[21].value;
  if coef[22].imp then r:=r+p11*p22*p23*coef[22].value;
  if coef[23].imp then r:=r+p11*p22*p33*coef[23].value;

  result:=abs(r);
end;

procedure init(FileName:String);
var f:textfile;
    s:string;
    i,err,j:integer;
begin
  AssignFile(f,FileName);
  Reset(f);
  for i:=0 to 23 do begin
    readln(f,s);
    if s[1]=' ' then delete(s,1,1);
    j:=0;
    while s[j]<>' ' do inc(j);
    s[j]:='.';
    val(copy(s,1,pos(#9,s)-1),coef[i].value,err);
    if pos('+',s)>0
      then coef[i].imp:=true
      else coef[i].imp:=false;
    end;
    CloseFile(f);
  end;

end.

```


ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Акт про внедрение результатов диссертационной работы



ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
УКРЗАЛІЗНИЦЯ

ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

вул. Тверська, 5, м. Київ-150, МСП 03680, тел.: (44) 465-06-00, 465-06-39, факс (44) 465-35-60

18.10.12

№ ЦІТ - 0143

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Єгорова Олега Йосиповича на
тему: «Підвищення достовірності ідентифікації рухомих одиниць на сортувальних
станціях залізничного транспорту»

В рамках проведення науково-дослідних робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Автоматизація транспортних технологій» кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. В.Лазаряна, була виконана науково-дослідна робота «Інформаційно-управляючий комплекс сортувальної станції», яка успішно пройшла лабораторні випробування та затверджена актом приймання-здавання. Впровадження цієї роботи планується у 2013-2014рр. на станції Нижньодніпровськ-Вузол.

До основних результатів дисертації Єгорова О.Й., що використовуються в даній роботі, належать:

- розроблена технічна структура контрольної ділянки та запропоновано метод ідентифікації поїзда з використанням ТГНЛ, на основі імовірнісного підходу;
- розроблена методика обчислення гранично можливих помилок визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць при відомих параметрах контрольної ділянки та параметрів контрольної ділянки, при відомих допустимих помилках визначення міжосьових відстаней рухомих одиниць;
- удосконалено методи визначення кількості та осності рухомих одиниць на одноточковій та двуточковій контрольних ділянках.

Заступник начальника

головного управління

інформаційних технологій Укрзалізниця



В.В. Великодний

006880