

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики

На правах рукописи

**Обертов Дмитрий Евгеньевич**

**Идентификация параметров движущихся транспортных средств**

05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в  
технических системах)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель -  
д.т.н, проф. Б.Р. Андриевский

Санкт-Петербург - 2014

## Оглавление

<b>Введение</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>1 Обзор и анализ технологий и методов обнаружения и мониторинга ТС</b>	<b>10</b>
1.1 Обзор аналогов и описание проблемы . . . . .	10
1.1.1 Интеллектуальные транспортные системы . . . . .	10
1.1.2 Системы обнаружения и мониторинга ТС . . . . .	11
1.1.3 Применение идентификации классов ТС и описание проблемы . . . . .	16
1.1.4 Существующие схемы классификации ТС . . . . .	29
1.1.5 Необходимость разработки системы . . . . .	29
1.2 Результаты анализа . . . . .	31
1.3 Выводы по разделу 1 . . . . .	36
<b>2 Оценивание скорости ТС с использованием магнитометра</b>	<b>39</b>
2.1 Введение. Задача оценки скорости ТС . . . . .	39
2.2 Теоретические основы . . . . .	39
2.3 Описание метода . . . . .	40
2.4 Обработка сигнала . . . . .	42
2.5 Алгоритм определения классов ТС . . . . .	45
2.6 Алгоритм оценки скорости ТС . . . . .	46
2.7 Результаты эксперимента . . . . .	48
2.8 Выводы по разделу 2 . . . . .	53
<b>3 Обнаружение ТС с помощью акселерометров</b>	<b>55</b>
3.1 Мотивация для разработки . . . . .	55
3.2 Реализация алгоритма . . . . .	56
3.3 Результаты экспериментов . . . . .	64
3.4 Выводы по разделу 3 . . . . .	65
<b>4 Алгоритм идентификации классов ТС с помощью акселерометров</b>	<b>66</b>

4.1	Введение. Классы ТС . . . . .	66
4.2	Реализация алгоритма и результаты экспериментальных исследований . . . . .	66
4.3	Неправильная классификация . . . . .	70
4.4	Выводы по разделу 4 . . . . .	72
<b>5</b>	<b>Выбор параметров алгоритмов обнаружения и идентификации методами временного и спектрального анализа</b>	<b>74</b>
5.1	Временной анализ . . . . .	74
5.2	Спектральный анализ . . . . .	74
5.3	Результаты исследования . . . . .	76
5.3.1	Условия эксперимента . . . . .	76
5.3.2	Результаты временного анализа . . . . .	77
5.3.3	Результаты спектрального анализа . . . . .	78
5.3.4	Фильтрация с применением эллиптического полосового фильтра . . . . .	78
5.4	Рекомендации по применению . . . . .	80
5.5	Выводы по разделу 5 . . . . .	82
	<b>Заключение . . . . .</b>	<b>83</b>
	<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>85</b>
<b>A</b>	<b>Программное обеспечение</b>	<b>94</b>
A.1	Программная среда МАТЛАВ. Краткое описание . . . . .	94
A.2	Тексты МАТЛАВ-программ обработки данных с акселерометров . . . . .	94
A.3	Тексты МАТЛАВ-программ обработки данных с магнитометров . . . . .	112
<b>B</b>	<b>Классификация колесных баз транспортных средств</b>	<b>118</b>

## **Введение**

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС), интеллектуальные дороги – это термины, которые относятся к взаимодействию и связи между транспортной инфраструктурой и транспортными средствами (ТС). ИТС предоставляют возможности для контроля дорожного движения в целях повышения безопасности, уменьшения пробок на дорогах, ведения статистики движения, определении классов транспортных ТС, контроля скорости и других приложений. Они помогают предотвращать опасные ситуации на дорогах и сохранять много человеческих жизней, поэтому разработка и внедрение ИТС является актуальной задачей, имеющей все возрастающее значение [1].

Использование ИТС предназначено для повышения безопасности движения, сокращения заторов и пробок, улучшению доступа к туристической информации и транзиту, снижения пагубного воздействия на окружающую среду.

Существенным элементом ИТС являются детекторы дорожного движения, представляющие первичную информацию о характеристиках транспортных средств (ТС), движущихся по дороге. Различные типы детекторов дорожного движения имеют различные компоненты, но в их структуре можно выделить общие функциональные узлы: датчик, микропроцессор и устройство хранения информации. Новые технологии обнаружения и мониторинга ТС постоянно разрабатываются и улучшаются уже существующие технологии, предназначенные для обнаружения ТС, их идентификации, учета трафика, определения направления и траектории движения ТС, измерения массы и осевой нагрузки движущихся автомобилей, контроля скорости и бокового положения ТС.

**Актуальность исследования.** Обнаружение, определение классов и скорости ТС является важным компонентом безопасности дорожного движения. Это необходимо для составления статистики и анализа движения различных ТС в соответствии с их типами. Некоторые ТС не могут двигаться по определенной полосе, мостам и т.д. Статистика может быть использована и для принятия мер по разгрузке транспортной сети на основе адаптивного регулирования работы светофоров и информационных табло. Поэтому разработка системы и алгоритма, которые бы с большой производительностью и надежностью могли бы работать в различных погодных условиях, в любое время дня и ночи является актуальной. Также желательно обеспечить бесконтактность измерений, что даст возможность продлить срок эксплуатации системы, уменьшить количество переустановок оборудования и вмешательства людей в дорожное движение. Снижение количества переустановок существенно и для уменьшения перерывов в эксплуата-

ции дороги. Кроме того, желательно использовать датчики, которые не требуют источников питания, что весьма существенно для эксплуатации системы.

В Российской Федерации развитию транспортной системы уделяется возрастающее внимание. Как отмечено в документе [2, 3], главной задачей государства в сфере функционирования и развития транспортной системы России является создание условий для экономического роста, повышения конкурентоспособности национальной экономики и качества жизни населения через доступ к безопасным и качественным транспортным услугам, превращение географических особенностей России в ее конкурентное преимущество. Цели Транспортной стратегии [2–7] включают: формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного опережающего развития эффективной транспортной инфраструктуры; обеспечение доступности и качества транспортно-логистических услуг в области грузовых перевозок на уровне потребностей развития экономики страны; повышение уровня безопасности транспортной системы и снижение ее негативного воздействия на окружающую среду.

Для достижения указанных целей предусматривается, в числе прочего, сбалансированное развитие интегрированной инфраструктуры транспортных коммуникаций всех видов транспорта, ликвидация разрывов и узких мест транспортной сети, ограничивающих её пропускную способность, увеличение пропускной способности и скоростных параметров транспортной инфраструктуры, а также создание интеллектуальных транспортных систем с использованием глобальной навигационной системы ГЛОНАСС и современных инфотелекоммуникационных технологий.

**Научной базой диссертации** являются труды О. В. Белого, Л. Н. Козлова, О. Г. Кокаева, А. Б. Куржанского, Ю. А. Лукомского, А. С. Мишарина, В. Бирка (*W. Birk*), П. Варайи (*P. Varaiya*), Н. Лундберга (*N. Lundberg*), Л. Рилискиса (*L. Riliskis*), Синг-Юи Чеунга (*Sing-Yiu Cheung*), Р. Хостеллера (*R. Hostettler*) и их коллег.

В диссертации решаются задачи совершенствования аппаратно-алгоритмической структуры систем идентификации ТС.

**Цель исследования** – разработка алгоритмов обнаружения, определения классов и скорости ТС.

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие **задачи исследования**:

– Разработка алгоритма оценивания скорости ТС с использованием магнитометров. Алгоритм оценки скорости основывается на измерении угла между осью датчика, перпендикулярной

дороге, и автомобилем.

- Разработка алгоритма обнаружения ТС с помощью акселерометров на основе применения амплитудного и временного порога обнаружения.
- Разработка алгоритма идентификации классов ТС с помощью акселерометров и магнитометров на основе комбинации метода обнаружения и метода оценки скорости.
- Анализ спектральных данных с акселерометров для задач обнаружения и идентификации ТС на основе применения преобразования Фурье.

#### **Научная новизна.**

- Разработан и исследован новый алгоритм обнаружения ТС с использованием одного акселерометра, устанавливаемого на дорожную разметку для измерения вибраций дороги, вызванных ТС.
- Разработан и исследован новый алгоритм оценки скорости ТС с использованием одного магнитометра на основе измерения угла между осью датчика, перпендикулярной дороге, и автомобилем.
- Предложен метод оценки скорости транспортного средства на основе измерения магнитного пути.
- Разработан и исследован новый алгоритм определения классов ТС с помощью сенсорного узла, представляющего собой комбинацию магнитометра и акселерометра.
- Разработан новый метод идентификации классов ТС по колесной базе с помощью одного сенсорного узла с такой комбинацией датчиков.
- Разработана методика выбора параметров алгоритмов обнаружения и идентификации методами временного и спектрального анализа.

#### **На защиту выносятся:**

- Алгоритм обнаружения ТС с использованием одного акселерометра, устанавливаемого на дорожную разметку.
- Алгоритм определения скорости ТС с помощью одного магнитометра.
- Алгоритм идентификации классов ТС по колесной базе, являющимся комбинацией алгоритмов обнаружения ТС и определения скорости ТС;
- Программная реализация алгоритма идентификации классов ТС в MATLAB 2009.

**Практическая значимость.** Создан теоретико-методологический инструментарий решения практических задач по обнаружению ТС, определению их скорости и идентификации

классов. Разработаны специальные алгоритмы решения поставленных задач. Разработана программная реализация алгоритмов с использованием среды МАТЛАВ 2009. Идентификация классов ТС по колесной базе с помощью одного сенсорного узла была решена впервые и, таким образом, имеет большое практическое значение. Практическая значимость работы подтверждается экспериментальными исследованиями, использованием в НИР кафедры, проекте *Iroad* (Лулео, Швеция), заявкой на международный патент.

**Результаты внедрения.** Теоретические и практические исследования диссертации используются в учебном процессе модулей «Цифровые системы управления» и «Цифровая техника систем управления» по направлениям подготовки магистров 27.04.03 «Системный анализ и управление», 27.04.04 «Управление в технических системах». На кафедре Систем управления и информатики Университета ИТМО построен научно-технический комплекс для исследования интеллектуальных транспортных систем. Данный комплекс базируется на программе в системе Matlab, разработанной соискателем и представленную в приложении диссертационного исследования. Проходит стадию рассмотрения международный патент *EP 2 677 323 A1*. (12). *European Patent Application*. 25.12.2013, No 12172521.2 [8].

**Методы исследования.** В диссертационной работе использованы: методы системного анализа, общей теории систем, автоматизированного управления, планирования эксперимента, цифровой обработки информации, спектрального, временного и частотного анализа данных, методы фильтрации помех, преобразование Фурье.

**Достоверность и обоснованность научных результатов** подтверждается применением апробированных методик, сертифицированных приборов, оборудования и программного обеспечения; воспроизводимостью и согласованностью данных, полученных в ходе экспериментов; положительным внедрением результатов работы в проекте *Iroad* (Технический университет Лулео, компании *Geveko*, *Eistec* и транспортная администрация *Vägverket*, Швеция), поданной заявке на европейский патент [8]. Разработанная методология, комплекс алгоритмов и технологии управления базируются на фундаментальных положениях ряда научных дисциплин, включая общую теорию систем, системный анализ, математическую физику, теорию управления.

**Апробация работы.** Результаты научных исследований по теме диссертации доложены и получили положительную оценку на двух международных конференциях *IEEE 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR 2014)*, *6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT*

2014), четырех российских научно-технических конференциях: I-й Всероссийский конгресс молодых ученых, апрель, 2012, Университет ИТМО, Санкт-Петербург; XIV конференция молодых ученых «Навигация и управление движением», март, 2012, ЦНИИ Электроприбор, Санкт-Петербург; XLII научная и учебно-методическая конференция НИУ ИТМО, февраль, 2013, Санкт-Петербург; XLIII научная и учебно-методическая конференция НИУ ИТМО, февраль, 2014, Санкт-Петербург, а также на семинарах кафедры систем управления и информатики Университета ИТМО.

**Полнота изложения положений и результатов**, выносимых на защиту, в опубликованных работах.

Результаты научных исследований по теме диссертации изложены в **четыре** публикациях, входящих в список периодической печати, рекомендованный ВАК РФ на соискание ученой степени кандидата технических наук [9–12], опубликованы в трудах международных конференций *IEEE 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR 2014)*, *6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT 2014)* [13, 14] с индексированием в *Scopus* и *IEEE Xplore* и в тезисах I-го Всероссийского конгресса молодых ученых [15].

#### **Связь работы с крупными научными программами, темами.**

Диссертационная работа выполнена в рамках целевых федеральных программ: ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы (соглашение №14.В37.21.0406); ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы (соглашение №14.В37.21.0421); ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 - 2013 годы (соглашение №14.В37.21.0659).

#### **Структура и объем диссертации.**

В разделе 1 описаны существующие технологии, описание проблемы и мотивация. Рассмотрены различные ИТС, описаны их достоинства и недостатки. Рассмотрены задачи, решаемые этими системами, и намечены направления дальнейших исследований.

В разделе 2 описан алгоритм определения скорости ТС с использованием магнитометра. Предложен и исследован метод оценки скорости транспортного средства на основе измерения магнитного пути. Проанализировав модель магнитного поля, автор пришел к выводу, что у ТС с одинаковыми магнитными свойствами магнитный путь пропорционален скорости. Таким образом, зная эталонный магнитный путь для данного класса - то есть путь на известной скорости, можно определить скорость исследуемого автомобиля.

В разделе 3 описан алгоритм обнаружения ТС и подсчета количества осей ТС с использованием акселерометра. Было показано, что оценка основных параметров ТС – обнаружение ТС и определение количества осей ТС с помощью измерения вибраций дорожного покрытия возможна. Обнаружение транспортного средства, можно обеспечить с большой надежностью. Представленный алгоритм показал хорошую производительность на экспериментальных данных. По второму алгоритму – определения количества осей ТС, получено, что можно определять параметры ТС с различным числом осей. Кроме того, показано, что с еще одним параметром – со скоростью автомобиля, легко вычисляется колесная база ТС. По колесной базе можно выполнять полноценную идентификацию классов ТС.

В разделе 4 описан алгоритм идентификации классов ТС с использованием акселерометра и приводятся результаты его экспериментального исследования. Получено, что при известной скорости ТС классы автомобилей идентифицируются достаточно точно.

В разделе 5 приводится методика выбора параметров алгоритмов обнаружения и идентификации методами временного и спектрального анализа. Рассмотрены методы частотного и временного анализа вибраций дорожного покрытия, вызванных проезжающими транспортными средствами. Вибрации измеряются акселерометрами, устанавливаемыми на дорожную разметку. Приведены результаты обработки данных с помощью спектрального анализа и фильтрации.

В заключении приведен вывод по всей работе и намечена краткая перспектива для дальнейших исследований. Вспомогательные сведения и тексты программ отнесены в приложения.

# **1 Обзор и анализ технологий и методов обнаружения и мониторинга транспортных средств**

## **1.1 Обзор аналогов и описание проблемы**

### *1.1.1 Интеллектуальные транспортные системы*

Концепция интеллектуальных транспортных систем (ИТС) состоит в следующем. Система состоит из сети сенсорных узлов. Они обмениваются информацией между собой и серверами за пределами дороги. Датчики могут передавать сигнал близстоящему дорожному знаку, который также подает предупреждающие сигналы о необходимости уменьшить скорость, сменить полосу движения и т.д. То есть сенсоры передают всю полезную информацию транспортной инфраструктуре, которая затем использует ее для обеспечения безопасности и повышения качества дорожного движения. Таким образом, реализуется концепция «умных дорог».

Серьезный характер транспортных вопросов обуславливает необходимость централизации управления транспортным комплексом для обеспечения безопасного, экологически чистого и комфортного перемещения людей и грузов. Наиболее эффективным решением вопроса перегруженности транспортных комплексов является внедрение Интеллектуальных транспортных систем (ИТС), которые еще много лет назад получили широкое распространение в Европе, США, Японии.

ИТС – это комплекс взаимосвязанных автоматизированных систем, решающих задачи управления дорожным движением, мониторинга и управления работой всех видов транспорта (личного, общественного, грузового), информирования граждан об организации транспортного обслуживания на территории региона. Комплексная система позволяет осуществлять выработку, поиск и реализацию оптимальных решений по управлению дорожно-транспортным комплексом, а также его интеграции с отраслевыми информационными системами.

Внедрение элементов ИТС на базе различных сервисов позволяет фиксировать и контролировать основные показатели транспортной ситуации в городе/регионе (скорость транспортного потока, количество автомобилей, метеоусловия), фиксировать нарушения ПДД, собирать информацию о наличии свободных парковочных мест, контролировать соблюдение маршрутов и расписания пассажирским транспортом, отслеживать загруженность маршрутов, отменять непопулярные маршруты и назначать новые, где это необходимо [1–3].

Российская Интеллектуальная Транспортная Система (РИТС) позволяет обеспечить [3]:

- сокращение смертности на дорогах Российской Федерации за счет повышения оперативности реагирования на ДТП;
- беспрепятственное движение спецтранспорта к месту ДТП или криминальной ситуации;
- оперативное, полное и достоверное доведение информации до специальных служб при возникновении криминальных или чрезвычайных ситуаций на транспорте;
- информирование водителей о нарушении ими правил дорожного движения и эксплуатации транспортного средства, а также о текущем и краткосрочном прогнозе состояния условий дорожного движения;
- автоматическую фиксацию фактов нарушения правил дорожного движения для выявления и наказания виновных лиц;
- повышение внимания водителей при управлении автомобилями в различных по напряженности условиях движения;
- создание условий для сокращения времени поездок пассажирами всеми видами наземного транспорта;
- увеличение пропускной способности дорог города за счет регулирования транспортных потоков и формирования предупредительной информации об условиях дорожного движения;
- возможность выбора пассажирами оптимального маршрута движения общественным транспортом от начальной до конечной точки с учетом маршрутов и расписаний движения общественного транспорта, а также дорожной ситуации и плотности транспортных потоков;
- оптимизацию маршрутов движения транспортных средств с учетом актуального состояния дорожного движения и миграции заторовых ситуаций;
- создание условий для своевременного и достоверного контроля выполнения заказов на осуществление транспортной работы предприятиями, осуществляющими пассажирские перевозки, эксплуатацию дорожно-уличной сети, вывоз твердых и жидких бытовых отходов, контроля расхода топлива, снижения страховых рисков, увеличения оборачиваемости ТС, снижения доли эксплуатационных издержек.

### *1.1.2 Системы обнаружения и мониторинга ТС*

В настоящее время известны следующие системы для обнаружения и мониторинга автомобилей: магнитные датчики (microloopprobes) [16–21], магнитометры [16–21], акселерометры [22–28], пьезоэлектрические кабели [29, 30], пьезоэлектрические датчики [31], пнев-

матические трубки, индуктивные датчики [32, 33], пьезоэлектрические датчики для измерений массы движущихся средств (*WIM*) [31], датчики осевой нагрузки – нагрузочные ячейки (*WIM*), емкостные датчики для измерений массы движущихся средств (*wim*) [34–36], изгибающиеся пластины (*wim*) [35, 37], волоконно-оптические датчики (*wim*), видеопроцессоры обработки изображений, микроволновые радары (Доплера, *CW*) [35, 37], микроволновые радары (*FMCW*) [35, 37], лазерные радары, пассивные инфракрасные датчики, активные инфракрасные датчики, инфракрасный регистратор движения (*tirtl*), ультразвуковые датчики [35, 37], пассивные акустические датчики [35, 37], глобальная система позиционирования (*GPS*, ГЛОНАСС), системы автоматической идентификации транспортных средств (*AVI*) системы автоматического определения местоположения транспортных средств (*AVL*) системы автоматического определения класса транспортных средств (*AVC*) сотовые телефоны, педаль-детекторы, трибоэлектрические кабели.

Подлежат определению следующие параметры ТС: их наличие, положение, размещение, количество, дистанции следования, количество осей и колесная база, длина и высота, скорость, угол и направление движения, боковое положение, масса, время и траектория движения, длина очереди, пробок, заторов.

Датчики ИТС – это акселерометры, индуктивные датчики, магнитометры, пневматические трубки, пьезоэлектрические кабели, пьезоэлектрические датчики, датчики осевой нагрузки, емкостные датчики, изгибающиеся пластины, волоконно-оптические датчики, трибоэлектрические кабели, педаль детекторы, видеокамеры, микроволновые радары с постоянной и переменной частотой, лазерные радары, инфракрасные активные и пассивные, ультразвуковые, радиочастотные и пассивные акустические датчики [38, 39]. Они имеют различные принципы работы, применения. Их применение и использование представлены ниже.

Магнитометры используются для подсчета, наличия, определении классов транспортных средств, направления движения ТС. Скорость может быть измерена косвенно (два датчика необходимо). Или напрямую – но нужна база данных, преобразованных каким-либо методом магнитных сигнатур.

Пневматические трубки используются для подсчета интенсивности движения транспортных средств, классификации ТС по количеству осей, для расчета дистанции между транспортными средствами, скорости насыщения потока, местной скорости в зависимости от класса транспортного средства.

Индуктивные датчики (петли) используются для обнаружения транспортных средств, их

количества, размещения на дороге, определении классов транспортных средств. Скорость может быть измерена косвенно.

Акселерометры используются для определения классов транспортных средств по осям, колесной базе, измерения количества и веса транспортных средств, взвешивания в движении. Скорость может быть измерена косвенно.

Пьезоэлектрические кабели используются для определения классов транспортных средств по осям, колесной базе, измерения количества и веса транспортных средств, взвешивания в движении. Скорость также может быть измерена косвенно.

Технологии взвешивания в движении (*WIM*) – емкостные датчики, изгибающиеся пластины, пьезоэлектрические датчики, волоконно-оптические и тензометрические датчики, которые используются для измерения массы ТС, косвенной оценки скорости, определения классов транспортных средств на основе количества осей и расстояния между осями – колесной базе.

Трибоэлектрические кабели используются для измерения скорости, количества осей и расстояния между осями, то есть для определения классов ТС по количеству осей и колесной базе [38].

Педаля-детекторы используются для измерения количества осей и расстояния между осями, то есть для определения классов ТС по количеству осей и колесной базе [38].

Видеокамеры позволяют определять классы транспортных средства по их длине, обнаруживать присутствие транспортных средств, измерять скорость потока, размещение и скорость для каждого класса.

Микроволновые датчики (радары) используются для измерения объема движения, для управления левыми сигналами поворотов, для измерения скорости и подсчета транспортных средств, размещения и наличия, идентификации транспортных средств на базе их длины.

Активные инфракрасные датчики (радары) обеспечивают измерения присутствия транспортных средств, объема, измерения скорости, измерения длины ТС, идентификацию классов ТС [39].

Пассивные инфракрасные датчики (радары) используются для измерения скорости и длины транспортного средства, объема и полосы движения, обнаружения и присутствия.

Ультразвуковые датчики измеряют скорость, размещение ТС по полосам движения, количество ТС, присутствие (наличие) транспортных средств. Также делают классификацию ТС.

Пассивные акустические датчики измеряют скорость, размещение ТС по полосам дви-

жения, количество ТС, присутствие(наличие) транспортных средств. Также они могут применяться для классификацию ТС.

Подробные сведения о преимуществах и недостатках, принципах действия датчиков можно найти в [40, 41].

Внедорожные системы являются системами, которые используют передовые технологии для обнаружения движения такие, как автомобильные датчики и дистанционное зондирование. Технологии зондирования автомобилей включают систему глобального позиционирования (*GPS*, ГЛОНАСС), сотовые телефоны, системы автоматической идентификации транспортных средств (*AVI*), системы автоматического определения местоположения транспортных средств (*AVL*) и системы автоматической определении классов транспортных средств (*AVC*), которые требуют в транспортном средстве наличия определенных устройств. Технологией дистанционного зондирования используются спутниковые изображения для анализа и извлечения информации о транспорте [42].

Использование в транспортных средствах технологии поиска позволяет автомобилю стать важным инструментом наблюдения и мониторинга трафика в условиях дорожной сети. Транспортные средства выступают в качестве «движущихся датчиков» (зондов) предоставляющих информацию о движении [43]. В целях безопасности точное позиционирование по отношению к этой информации имеет решающее значение. Зонд наблюдения может предоставить следующие измерения: скорость, время поездки, пункт отправления и назначения транспортного средства.

Системы обнаружения ТС могут быть контактными и бесконтактными. Они имеют различные принципы работы, применения [40, 41]. Их применение и использование представлены ниже.

Магнитометры используются для подсчета, наличия, определении классов ТС, направления движения ТС. Скорость может быть измерена косвенно (два датчика необходимо). Или напрямую – но нужна база данных, преобразованных каким-либо методом магнитных сигнатур. Пневматические трубки используются для подсчета интенсивности движения ТС, классификации ТС по количеству осей, для расчета дистанции между транспортными средствами, скорости насыщения потока, местной скорости в зависимости от класса транспортного средства. Индуктивные датчики (петли) используются для обнаружения ТС, их количества, размещения на дороге, определении классов ТС. Скорость может быть измерена косвенно. Акселерометры используются для определении классов ТС по осям, колесной базе, измерения количества и

веса ТС, взвешивания в движении. Скорость может быть измерена косвенно. Пьезоэлектрические кабели используются для определения классов ТС по осям, колесной базе, измерения количества и веса ТС, взвешивания в движении. Скорость также может быть измерена косвенно. Технологии взвешивания в движении (*WIM*) используют емкостные датчики, изгибающиеся пластины, пьезоэлектрические датчики, волоконно-оптические и тензометрические датчики используются для измерения массы ТС, оценки скорости косвенно, определения классов ТС на основе количества осей и расстояния между осями – то есть *колесной базе*. Трибоэлектрические кабели используются для измерения скорости, количества осей и расстояния между осями, то есть для определения классов ТС по количеству осей и колесной базе [44]. Педаль-детекторы используются для измерения количества осей и расстояния между осями, то есть для определения классов ТС по количеству осей и колесной базе [44]. Видеокамеры могут определять классы ТС по их длине, обнаруживать присутствие ТС, измерять скорость потока, размещение и скорость для каждого класса. Микроволновые датчики (радары) используются для измерения объема движения, для управления левыми сигналами поворотов, для измерения скорости и подсчета ТС, размещения и наличия, идентификации ТС на базе их длины. Активные инфракрасные датчики (радары) обеспечивают измерения присутствия ТС, объема, измерения скорости, измерения длины ТС, идентификацию классов ТС. Пассивные инфракрасные датчики (радары) используются для измерения скорости и длины транспортного средства, объема и полосы движения, обнаружения и присутствия. Ультразвуковые датчики измеряют скорость, размещение ТС по полосам движения, количество ТС, присутствие(наличие) ТС. Также делают классификацию ТС. Пассивные акустические датчики измеряют скорость, размещение ТС по полосам движения, количество ТС, присутствие(наличие) ТС. Также делают классификацию ТС.

Внедорожные системы являются системами, которые используют передовые технологии для обнаружения движения такие, как автомобильные датчики и дистанционное зондирование. Технологии зондирования автомобилей включают систему глобального позиционирования (*GPS*, ГЛОНАСС), сотовые телефоны, системы автоматической идентификации ТС (*AVI*), системы автоматического определения местоположения ТС (*AVL*) и системы автоматической определения классов ТС (*AVC*), которые требуют в транспортном средстве наличия определенных устройств. Технологией дистанционного зондирования используются спутниковые изображения для анализа и извлечения информации о транспорте [42].

Использование в ТС технологии поиска позволяет автомобилю стать важным инструментом наблюдения и мониторинга трафика в условиях дорожной сети. Транспортные средства

выступают в качестве «движущихся датчиков» (зондов) предоставляющих информацию о движении [43]. В целях безопасности точное позиционирование по отношению к этой информации имеет решающее значение. Зонд наблюдения может предоставить следующие измерения: скорость, время поездки, пункт отправления и назначения транспортного средства.

Хорошая производительность на дороге, таких датчиков как индуктивные петли, магнитные датчики и магнитометры основана, в частности, на их близком расположении к транспортным средствам. Таким образом, они не чувствительны к ненастной погоде из-за высокого отношения сигнал-шум. Их основным недостатком является их установки, требующие физических изменений проезжей части, как часть процесса установки. Внедорожные датчики часто предоставляют данные с несколько полос движения [45]. В таблице 1.1 отражены сильные и слабые стороны сенсорных технологий, используемых в серийно выпускаемых датчиках [45, 46].

Факторы окружающей среды, влияющие на производительность датчиков, представлены в таблице 1.2 [45–47]. Краткое описание основных характеристик датчиков дано в таблице 1.3.

### *1.1.3 Применение идентификации классов ТС и описание проблемы*

Хорошая производительность на дороге таких датчиков как индуктивные петли, магнитные датчики и магнитометры основана, в частности, на их близком расположении к транспортным средствам. Таким образом, они не чувствительны к ненастной погоде из-за высокого отношения сигнал-шум. Их основным недостатком является необходимость физических изменений проезжей части в процессе установки. Внедорожные датчики часто предоставляют данные с нескольких полос движения [45].

Транспортные средства могут быть классифицированы по различным критериям для различных задач. Наиболее очевидным является применение идентификации классов ТС для мониторинга дорожного движения и набора статистики. Статистика необходима как характеристика описания движения транспорта в одном определенном месте в определенное время: времени суток, дня недели, времени года. В дальнейшем эта информация может быть использована для планирования ремонта дорог, организации других эксплуатационных мероприятий и принятия мер по разгрузке транспортной сети.

Разумный набор классов для автомобилей: легковые, грузовые автомобили, грузовые автомобили с одним или несколькими прицепами и легковые автомобили с прицепом, мотоциклы, автобусы. Возможна классификация по длине, высоте, количеству осей, расстоянию между

осями (колесной базе) и сигнатурам ТС.

Детекторы движения, способные обеспечить точными данными о транспорте в реальном времени, являются основой проведения надежного анализа транспорта и полного использования систем управления транспортом. Информация о классах ТС является одной из наиболее важных транспортных данных, используемых в разработке дорожного покрытия, эксплуатации и планирования транспортной инфраструктуры. В 2001 г. издание Руководства мониторинга движения (*TMG*), выпущенное *FHWA* ясно уделяет гораздо больше внимания определению классов ТС, вводу сбора, манипуляции и представления данных о определении классов ТС, и призывает государственные точки провести испытания датчиков и разработать проекты для получения всеобъемлющей, представительной и беспристрастной информации о классах ТС [42].

Данные об определении классов ТС являются важным вкладом в геометрическую и структурную разработку дорог. Они используются, чтобы определить полный спектр осевой нагрузки на дорожное покрытие [42].

Таблица 1.1 — Достоинства и недостатки имеющихся сенсорных технологий [45, 46].

Технология	Достоинства	Недостатки
Индуктивные датчики (петли)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гибкий дизайн для удовлетворения большого разнообразия приложений.</li> <li>• Зрелая, хорошо разработанная технология</li> <li>• Большая база опыта</li> <li>• Обеспечивает основные параметры движения (например, объем, наличие, размещение, скорость, вперед, и дистанцию)</li> <li>• Нечувствительность к ненастной погоде, такой как дождь, туман и снег</li> <li>• Обеспечивает наилучшую точность для подсчета данных по сравнению с другими широко используемыми методами</li> <li>• Общий стандарт для получения точных измерений положения</li> <li>• Модели с высокой частотой возбуждения обеспечивают классификацию ТС</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Для установки необходимо нарушение дорожного покрытия</li> <li>• Неправильная установка уменьшает срок эксплуатации</li> <li>• Установка и обслуживание требуют нарушения движения по полосе</li> <li>• Петли подвержены влиянию движения и температуры</li> <li>• Несколько петель обычно требуется для контроля местоположения</li> <li>• Точность обнаружения может снизиться, если разработка требует выявления большого разнообразия классов транспортных средств</li> </ul>
Магнитометры	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Менее восприимчивы, чем петли к влияниям движения</li> <li>• Нечувствительны к ненастной погоде (снег, дождь, туман)</li> <li>• Некоторые модели передают данные по беспроводной радиочастотной связи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Для установки необходимо нарушение дорожного покрытия</li> <li>• Неправильная установка уменьшает срок эксплуатации</li> <li>• Установка и обслуживание требуют нарушения движения по полосе</li> <li>• Модели с небольшими зонами обнаружения требуют несколько устройств для полного обнаружения по полосе</li> </ul>

Продолжение таблицы 1.1

Технология	Достоинства	Недостатки
Микроволновые радары	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Обычно нечувствительны к ненастной погоде на относительно коротких дистанциях, встречающихся при управлении движением</li> <li>● Прямое измерение скорости</li> <li>● Доступна работа на нескольких полосах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Радар Доплера (CW) не может обнаружить остановившееся ТС</li> </ul>
Магнитные детекторы (индукционные катушки или микропетли)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Могут быть использованы там, где использовать индуктивные петли не представляется возможным (например на мостах)</li> <li>● Некоторые модели устанавливаются под дороги без необходимости нарушения дорожного покрытия. Тем не менее, бурение в дороге требуется</li> <li>● Нечувствительны к ненастной погоде, такой как снег, дождь и туман</li> <li>● Менее восприимчивы, чем петли к влиянию движения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Для установки требуется нарушение дорожного покрытия или бурение в асфальте</li> <li>● Не удастся обнаружить остановившееся транспортное средство, если специальные макеты датчиков и программного обеспечения обработки сигналов не используются.</li> </ul>
Активные инфракрасные датчики (лазерные радары)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Передача нескольких лучей для точного измерения положение транспортного средства, скорости и класса</li> <li>● Доступна работа на нескольких полосах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Работа может быть нарушена туманом при видимости менее 6 м, или во время метели</li> <li>● Установка и обслуживание, в том числе периодическая очистка линз, требует закрытия полосы движения</li> </ul>

Продолжение таблицы 1.1

Технология	Достоинства	Недостатки
Пассивные инфракрасные датчики	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Мультизональные пассивные датчики измеряют скорость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Пассивный датчик, возможно, уменьшит чувствительность обнаружения ТС в сильный дождь, снег и густой туман</li> <li>● Некоторые модели не рекомендуется использовать для обнаружения присутствия ТС</li> </ul>
Ультразвуковые радары	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Доступна работа на нескольких полосах</li> <li>● Возможность детектирования высоты транспортных средств</li> <li>● Большой опыт использования (Япония)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Условия окружающей среды, такие как изменение температуры и экстремальная турбулентность воздуха может повлиять на производительность</li> <li>● Температурная компенсация встроена в некоторые модели.</li> <li>● Большие периоды следования импульсов могут ухудшить измерения положений ТС на автострадах у транспортных средств, движущихся на средних и высоких скоростях</li> </ul>
Пассивные акустические датчики	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Пассивное обнаружение</li> <li>● Устойчивость к осадкам</li> <li>● В некоторых моделях доступна работа на нескольких полосах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Низкие температуры могут повлиять на точность подсчета количества ТС</li> <li>● Некоторые модели не рекомендуется использовать при тихоходных транспортных средств в «стоп-энд-гоу» режиме движения</li> </ul>

Продолжение таблицы 1.1

Технология	Достоинства	Недостатки
<p>Видеопроцес- соры изоб- ражений (видеокамеры)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Мониторинг нескольких полос движения и детектирование нескольких зон / полос</li> <li>● Легко добавлять и изменять зоны обнаружения</li> <li>● Богатый массив данных</li> <li>● Предоставляют широкие зоны обнаружения, когда информация, собранная в одном месте камерой может быть связана с другим</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Установка и обслуживание, в том числе периодическая очистка линз, требует закрытия полос движения, когда камера установлена на проезжей части (закрытие может не потребоваться, если камера установлена на сторону проезжей части)</li> <li>● Производительность, зависит от неблагоприятных погодных условий, таких как туман, дождь и снег, автомобильные тени (блики); проекции транспортных средств на соседние полосы, переход день/ночь, контраст автомобиля /дороги, и вода, соль, грязь, сосульки, и паутина на объективе камеры</li> <li>● Надежное ночное срабатывание сигнала требует уличного освещения</li> <li>● Требуется высота установки камеры (в части монтажа конфигурации) для оптимального обнаружения присутствия и измерения скорости в диапазоне 9 ÷ 15 м</li> <li>● Некоторые модели подвержены движению камеры, вызванные сильными ветрами и вибрациями монтажными конструкциями камеры</li> <li>● Обычно экономически эффективны, когда многие зоны обнаружения в поле зрения камеры или требуются специализированные данные</li> </ul>

Таблица 1.2 — Факторы окружающей среды, влияющие на производительность датчиков [47].

Технология		Технология				
		Проница- емость	Ветер	Температура	Свет	Большой транс- портный поток
1	Индуктивные датчики			+		
2	Магнитные детекторы (микрочетли и индукционные катушки)			+		
3	Магнитометры			+		
4	Пневматические трубки			+		+
5	Пьезоэлектрический кабель			+		
6	Акселерометры			+		
7	WIM технологии: Изгибающиеся пластины; Волоконно-оптические датчики; Емкостные датчики; Пьезоэлектрические датчики; Тензометрические датчики;			+		
неконтактные						
8	Микроволновый радар					
	Доплеровский с постоянной частотой					+
	— с переменной частотой					
8	Инфракрасный радар					
	активный	+				
	пассивный					
10	Видеокамера	+	+	+	+	
11	Ультразвуковой датчик					
12	Пассивный акустический датчик	+		+		+
13	Теги радиочастотной идентификации (RFID)	+				
14	Инфракрасный регистратор движения (TIRTL)	+				

Расчет глубин дорожного покрытия и разработка геометрических характеристик требует данных о грузовиках в качестве входных данных. Кроме того, количество классифицированных ТС или данные о взвешивании в движении (*WIM*) способны повысить точность нагрузочной оценки для проектирования и управления дорогами [42].

Для изучения влияния транспортной нагрузки на дорожное покрытие необходимо быть в состоянии оценить количество и тип ТС, пересекающих заданную точку. Различные критерии могут быть использованы для определения классов ТС, включая длину, колесную базу, количество осей, расстояние между осями, наличие двойных шин, количества прицепов, или комбинации этих критериев [48, 49].

Учреждениям, связанным с транспортом, требуются данные о классах ТС. Федеральные, государственные, городские организации планирования и ряд других учреждений, отвечающих за надзор за транспортными средствами используют данные определения классов ТС для планирования, проектирования, эксплуатации и технического обслуживания дорог [49].

Данные о классах ТС используются для прогнозирования и планирования товарных потоков и грузовых перевозок, а также предоставления информации относительно текущей и прогнозируемой мощности автомобильных дорог. На этапе планирования, данные определения классов ТС играют важную роль в проведении экологического анализа воздействия. Кроме того, данные о классах ТС имеют решающее значение при анализе аварий на дорогах, так как носители различных классов имеют различные эксплуатационные характеристики [49]. В ремонтных работах, данные о классах ТС используются для планирования ремонта и реконструкции существующих магистралей на основе прогнозируемого времени эксплуатации дорог. Эти данные необходимы в различных форматах в зависимости от их предполагаемого использования в транспортных агентствах [49].

Данные по определению классов ТС чрезвычайно важны как транспортным ведомствам, так и законодательным органам, чтобы справиться с необходимостью определить и выделить денежные средства (например, между частными автомобилями и большими коммерческими транспортными средствами), связанные с поддержанием обширной системы дорог страны и приоритетов усовершенствования, которые могут быть предоставлены. Общее использование данных о классах ТС включают в себя следующее [49]:

- Проектирование дорожного покрытия;
- Планирование омоложения, восстановления и реконструкции автомобильных дорог на основе прогнозируемого остаточного ресурса покрытия;

- Прогнозирование и планирование товарных потоков и грузовых перевозок;
- Предоставление проектов относительно текущей и прогнозируемой пропускной способности автомобильных дорог;
- Анализ альтернативных дорог нормативной и инвестиционной политикой;
- Анализ экологических последствий;
- ДТП анализ

Каждое государство может собирать и анализировать данные о классах ТС с использованием собственных стандартов. Это связано с тем, что характеристики автомобилей отличаются один от другого, тем более, модели грузовиков сильно зависят от местной экономической деятельности, ограничений по весу, техническим характеристикам и размерам грузовиков, введенных государствами.

Например, несколько прицепов грузовых автомобилей являются общими в большинстве западных стран, в то время как они составляют гораздо меньший процент грузоперевозок во многих восточных государствах. Кроме того, некоторые грузовые автомобили, предназначенные для перевозки товаров, которые являются специфическими для некоторых локальных местах [49].

Таблица 1.3 - Краткое описание основных характеристик датчиков

Технология		Тип данных									Сложность калибровки
		Количество	Скорость	Наличие	Идентификация класса	Полоса движения	Определение на разных полосах	Вес	Пропускная способность	Стоимость покупки датчика	
1	Индуктивные датчики (петли)	+	+*	+	+	+			От низкой до умеренной		низкая
2	Пассивные магнитные датчики(микрочетли или магнитные индукционные катушки)	+	+*	+*	+	+					низкая
3	Магнитометры	+	+* , +	+	+	+			низкая		низкая
4	Пневматические трубки	+	+*	+	+,+*	-					
5	Пьезоэлектрические датчики	+	+*	+	+,+*	-		+			
6	Акселерометры	+	+*	+	+,+*	-					
7	WIM технологии										
	Изгибающиеся	+	+*	+	+,+*	-		+			

	пластины										
	Волоконно-оптические датчики	+	+*	+	+,+*	-		+			
	Емкостные датчики	+	+*	+	+,+*	-		+			
	Пьезоэлектрические кабели	+	+*	+	+,+*	-		+			
	Тензометрические датчики	+	+*	+	+,+*	-		+			
8	Педаля детекторы	+	+*	+	+,+*						
9	Трибоэлектрические датчики	+	+*	+	+,+*						
неконтактные											
10	Микроволновый радар										
	Доплеровский с постоянной частотой(CW)	+	-	+	+	-	+		умеренная		От средий до высокой
	Переменной частоты(FMCW)	+	+	+	+	+	+		умеренная		От средий до высокой
11	Инфракрасный радар										
	активный	+	-	+**	+	-	+		От низкой до умеренной		низкая

	пассивный	+	+	+**	+	+			От низкой до умеренной		низкая
12	Инфракрасный регистратор движения(TIRTL)	+	+	+	+	+	+				
13	Лазерный радар	+	+	+	+	+	+				средняя
14	Видеокамера	+	+	+	+	+	+		От низкой до высокой		средняя
15	Ультразвуковой датчик	+	+	+	+	+			Низкая		
16	Пассивный акустический	+	+	+	+	+	+		От низкой до умеренной		
17	Теги радиочастотной идентификации(RFID)										
внедорожные											
18	Система глобального позиционированияGPS		+	+							
19	Системы автоматической идентификации ТС			+							



### 1.1.4 Существующие схемы классификации ТС

Наиболее часто используемые в мире существующие схемы классификации ТС [48] представлены в таблицах 1.4, 1.5. Существуют еще ряд других классификаций, представленных в [49].

Таблица 1.4 — FHWA классификация ТС по [48].

Класс	Описание
1	Мотоциклы
2	Легковые автомобили
3	Другие двухосевые, четырех шинные, единичные транспортные средства
4	Автобусы
5	Двухосевые, шестишинные, единичные грузовики
6	Трехосевые, единичные грузовики
7	Четырех- или более осевые, единичные грузовики
8	Четырех- или менее осевые, с единичным трейлером грузовики
9	Пяти- осевые, с единичным трейлером грузовики
10	Шести- или более осевые, с единичным трейлером грузовики
11	Пяти- или менее осевые, с несколькими трейлерами грузовики
12	Шести- или более осевые, с несколькими трейлерами грузовики
13	Семи- или более осевые, с несколькими трейлерами грузовики

Таблица 1.5 — Классификация ТС по количеству осей.

Класс	Описание
1	Двухосевые
2	Трехосевые
3	Четырехосевые
4	Пятиосевые
5	Шестиосевые
6	Семиосевые или более

### 1.1.5 Необходимость разработки системы

По данным Всемирной организации здравоохранения [50], более одного миллиона человек погибают на дорогах каждый год. Смертность на дорогах в дорожно-транспортных проис-

шествиях является доминирующим фактором для неестественных смертей человека.

Главная опасность для участников дорожного движения - столкновения. Такая опасность может быть уменьшена с помощью рациональных методов контроля дорожного движения, а также проектированием ТС, способных избегать столкновений и использовать технологии для выживания, такие как подушки безопасности [50]. Другим путем является проектирование *интеллектуальных систем дорожного движения*, которые дадут информацию для водителей о дорожных условиях, пробках, авариях, скорости и т.д. в режиме реального времени. В частности, этот подход реализуется в шведском проекте *iRoad* [51,52]. Мотивация этих исследований связана с необходимостью уменьшения смертности в дорожно-транспортных происшествиях и сокращении расходов, которые тратятся на дорожно-транспортные происшествия и решения различных проблем дорожного движения. Также требуется создание новых методов для Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС), которые были бы более производительны и экономичны, чем существующие.

В [41,53] предложен метод оценки скорости с использованием двух магнитометров, за счет измерения времени проезда автомобиля от одного датчика к другому. Такой способ требует идеальной синхронизации датчиков, чего сложно добиться на практике [54].

В статье [41] предлагается использовать лишь один магнитометр, но при этом оценка скорости производится путем деления среднестатистического магнитного пути на время проезда транспортного средства мимо датчика. Надо сказать, что такой способ не учитывает индивидуальных параметров автомобиля и обладает существенной погрешностью.

В [55,56] описан похожий алгоритм определения осей ТС, Он включает схожие операции. В этих статьях в самом алгоритме определения осей ТС после скользящего среднего использует ФНЧ просто, а в данной работе предполагается использовать перестраиваемый ФНЧ с частотой среза пропорциональной скорости ТС. Это важно и существенно, в том плане что пики сигналов после сглаживания бывают уже и шире, и использование просто стационарного ФНЧ – часто дает плохие результаты. Пиков (они соответствуют осям ТС) может стать меньше, например – если скорость ТС бóльшая и наоборот. Это проверено и доказано экспериментально.

Отличие использования магнитометров заключается в том, что для определения скорости используются несколько магнитометров В работе [55] используются два магнитометра для нахождения скорости, в работе [56] их количество даже больше двух. Скорость находится делением расстояния между магнитометрами на время проезда между датчиками. Это более

затратно, требуется больше датчиков, что увеличивает затраты на внедрение системы и на обработку информации. Также является недостатком то, что требуется идеальная синхронизация датчиков.

В настоящей диссертации рассматривается одна из частных задач, состоящая в определении классов ТС. С этой целью предложено использование акселерометров и магнитометров, с помощью которых решается задача идентификации классов автомобилей на основе полученных измерений. Эта работа предназначена дать больше знаний о вибрациях дороги, вызванных движущимися транспортными средствами, и о магнитных полях ТС, и как транспортные средства влияют на эти параметры. Проблемы идентификации классов ТС с использованием акселерометров и магнитометров решаются в этой работе. Кроме того, задача идентификации классов ТС с помощью одного сенсорного узла, до сих пор не решена и является актуальной в настоящее время. Решение этой задачи важно с практической точки зрения, так как упрощает установку датчиков и снижает затраты, а также повышает безопасность условий труда дорожных рабочих.

## 1.2 Результаты анализа

Система пассивной безопасности (подушки, ремни и т.д.) предназначена для защиты пассажиров при аварии, но не для ее предотвращения. Система активной безопасности (антипробуксовочная система, электронная блокировка дифференциала и т.д.) позволяет в различных критических ситуациях сохранить контроль над автомобилем. Все эти системы действуют в условиях данного транспортного средства, и не принимается во внимание поведение других участников дорожного движения.

В настоящее время активно развиваются методы снижения риска аварий, основанные на так называемой «совместной инфраструктуре» [54, 57–59]. Данный подход также используется в проекте *iRoad* Технического Университета г. Лулео [51, 52] и предполагает создание интеллектуальной дорожной инфраструктуры, представленной сетью чувствительных узлов (набор датчиков), расположенных на дорожной разметке [60–63]. Идея заключается в том, что каждый чувствительный узел предоставляет информацию о текущей ситуации на отдельном участке дороги. Далее, все поступившие данные централизованно обрабатываются и, например, в случае обгона с выездом автомобиля на встречную полосу движения, производится предварительная проверка наличия каких-либо препятствий для совершения данного маневра.

В последнее время большее внимание уделяется проектированию и разработке интел-

лектуальных транспортных систем, в том числе интеллектуальных дорог, которые снабжены средствами, позволяющими обеспечивать взаимодействие и связь между транспортной инфраструктурой и транспортными средствами [51, 62, 64, 65].

Идентификация классов ТС является важным компонентом безопасности дорожного движения. Поэтому создание системы и алгоритма, который с большой производительностью и надежностью мог бы работать в различных погодных условиях, в любое время суток, является актуальной проблемой. Ставится задача, по возможности, обеспечить бесконтактность измерений, что позволит продлить время эксплуатации системы, уменьшить количество переустановок оборудования и вмешательства людей в дорожное движение, приводящее к нарушению движения транспорта во время установки.

Транспортные средства могут быть классифицированы по различным критериям в зависимости от задач. Наиболее очевидным является применение идентификации классов ТС для мониторинга и статистики дорожного движения [62, 66]. Эта информация может быть использована в дальнейшем для планирования ремонта дорог, организации других эксплуатационных мероприятий и принятия мер по разгрузке транспортной сети.

В данной работе исследуется возможность использования акселерометров для обнаружения и идентификации классов ТС. Для предварительной обработки сигнала предлагается применить спектральный и временной анализ данных с акселерометров, встроенных в полотно дороги. Характеристики используемого акселерометра представлены в [67]. Представленные в данном исследовании материалы частотного и временного анализа данных с акселерометров являются развитием работ, изложенных в [9].

В настоящее время в мире идет разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем различного назначения. Широкое внедрение систем дорожной безопасности водителей в современных ТС, такие как подушки безопасности, привело к снижению смертности в дорожно-транспортных происшествиях. Например, в США количество спасенных жизней благодаря подушкам безопасности оценивается в более чем 28200 в январе 2009 года [68].

Активная безопасность автомобильных систем, такая как антиблокировочная тормозная система (АБС, ABS; нем. *Antiblockiersystem*, англ. *Anti-lock braking system*, ABS) или электронная программа курсовой устойчивости (ESP) помогают предотвратить опасные ситуации, сохраняя в них автомобиль управляемым и устойчивым.

Типичные сценарии, которые часто приводят к серьезным столкновениям, это левые повороты на перекрестках или обгоны на двухполосной дороге с двусторонним движением [69].

В последнем случае перспективным подходом является использование «компьютерного помощника», представляющего собой комплекс аппаратных и программных средств для оказания помощи водителю при обгоне [70]. Он использует прогнозируемое время прибытия следующего встречного транспортного средства, основанное на собственной скорости движения, предшествующем и обгоняющем транспортном средстве, чтобы информировать водителя безопасен ли обгон или нет.

Аналогичная система дорожного руководства (помощи) основана на определении опасных изменений полос движения с помощью комбинации радара для обработки сигналов и обработки визуальной информации [71]. Среди других сценариев, эта система умеет распознавать встречные транспортные средства и предупреждать водителя о смене полосы движения. Тем не менее, возможности датчика поля зрения визуальных систем, а также радар ограничены. Определение поворотов, подъемов или даже большие расстояния могут стать проблемой для таких систем.

Другие подходы для преодоления таких ограничений основаны на системах, где отдельные транспортные средства обмениваются данными друг с другом, чтобы обеспечить взаимной информацией водителей [72, 73]. Некоторые недостатки этих подходов состоят в том, что каждый автомобиль должен быть оснащен соответствующей системой, и что только ограниченная информация об окружении, такая как состояние дороги, препятствия и направление движения доступна.

Современные автомобили снабжены высокоинтеллектуальными системами безопасности, но не каждый водитель имеет возможность купить такую машину, именно поэтому происходит создание интеллектуальной дорожной инфраструктуры в развитых странах мира. Еще один способ сделать дорожное движение безопаснее – это наблюдающаяся в последние годы тенденция к кооперативной инфраструктуре [51, 52, 64, 74–78]. Сейчас существует много таких проектов, которые направлены на развитие интеллектуальной дорожной инфраструктуры в виде датчиков дорожной разметки, которые объединены беспроводной сетью. Датчики обмениваются информацией как между собой, так и с серверами расположенными за пределами дороги. Идея основана на автономном транспортном и дорожном контроле со стороны каждого датчика. Датчики крепятся на дорожное покрытие, а точнее приклеиваются на дорожную разметку специальным клеем. Они получают питание от солнечных батарей. Датчики могут, например, передать специальные сигналы водителю, поменяв цвет или начав мигать за несколько сотен метров до начала полосы гололеда или какой-то другой критической си-

туации. Датчики также могут передавать сигнал близстоящему дорожному знаку, который начнет мигать, предупреждая водителей о необходимости сбросить скорость, сменить полосу движения и т.д.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – это системное взаимодействие современных информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и пользователями, которая направлена на повышение безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта [51, 64]. Развитие ИТС основано на системном подходе, т.е. создание ИТС ведется в направлении целостной инфраструктуры, а не отдельных модулей. Формируется единая открытая архитектура системы и протоколы обмена информацией [52, 64, 78, 79]. В ИТС используются различные виды беспроводной связи, но широкое применение сейчас нашел стандарт *IEEE 802.11 (Wi-Fi)* [51, 52, 64, 76–78]. Современные разработки в технологиях встраиваемых систем позволяют использовать операционные системы реального времени, а также более высокоуровневые приложения, дающие возможность применять разработки в области искусственного интеллекта.

Однако существует необходимость создания интеллектуальной транспортной системы нового поколения, которая соответствует сценарию инновационного развития.

В данном подходе требуется определить характерные параметры ТС. Определение параметров имеет важное значение для выявления транспортных сценариев, мониторинга движения и использования дороги или прохождения в реальном времени ТС с информацией для водителей. Наиболее существенные параметры указаны и объяснены ниже, и некоторые из них показаны на рисунке 1.1.

**Обнаружение ТС и определение числа осей ТС.** Основными проблемами является подсчет ТС и определение количества осей каждого транспортного средства, что можно рассматривать как две наиболее важные задачи.

Информация о проезжающих автомобилях имеет важное значение для мониторинга дорожного движения. Подсчет количества осей ТС помогает определять классы ТС и дает информацию, по которой другие параметры движения могут быть оценены.

**Обнаружение и определение типа прицепа ТС.** Информация о прицепе соединенном с автомобилем является существенной для определения классов ТС. Кроме того, обнаружение прицепа каким либо образом соединенного с ТС и количества осей транспортного средства с прицепом, так чтобы прицеп не рассматривался в качестве индивидуального транспортного



Рисунок 1.1 — Наиболее важные параметры транспортного средства: направление движения, колесная база и боковое смещение.

средство также является важным.

**Скорость и направление движения ТС (курсовой угол) ТС.** Данные параметры (см. рисунок 1.1) являются важными параметрами для определения транспортных сценариев и обеспечения помощи водителю, например, чтобы водитель замедлил автомобиль на повороте, на котором дорожное покрытие покрыто льдом, или текущая скорость может привести транспортное средство к заносу или аварии. Кроме того, курсовой угол может быть полезен, чтобы определить намерения водителя, такие как перестроение или обгон ТС.

**Колесная база ТС.** Объединяя оценки количества осей ТС и скорость автомобилей, легко оценить колесные базы ТС (расстояния между соседними осями ТС), которые являются показателем для идентификации классов ТС, например, автобусы, можно легко отличить от легковых автомобилей только определив расстояние между осями.

**Боковая положение ТС.** Боковое положение (см. рисунок 1.1) имеет решающее значение для предвидения возможных несчастных случаев или опасных ситуаций. По оценке боковых положений ТС на дороге, можно также определить, в какой полосе движения транспортное средство или же водитель меняет полосу движения. Обладая этой информацией, можно, например, прогнозировать аварии и опасные маневры обгона.

**Нагрузка на ось ТС.** Нагрузка на ось также является параметром для определения классов автомобилей. В соответствии с нагрузкой на ось, ТС можно легко отличить тяжелые ТС от легких. Данная информация может быть важной, когда речь заходит о прогнозировании

нарушения дистанции движения, чтобы избежать столкновения или просто для предупреждения водителя о малом расстоянии между транспортными средствами. Кроме того, нагрузка на ось значимый параметр для определения перегруженных ТС, которые слишком тяжелые для определенной дороги. В рамках ремонта дорог, нагрузка на ось также интересна, потому что может быть отслежен износ дороги.

**Определение классов ТС.** ТС могут быть классифицированы по нескольким различным критериям для различных приложений и целей. Наиболее очевидным применением, конечно, является мониторинг и статистика описания движения транспорта в одной определенной точке. Еще одно приложение, также связанное с безопасностью дорожного движения – это фильтрация запрещенных ТС. В качестве примера, рассмотрим мост, который предназначен только для легких ТС, не превышающих определенный вес. Тяжелый грузовик, который игнорирует это ограничение и продолжает движение по мосту, и в результате этого скорее всего мост обрушится. С информацией о классе ТС транспортная инфраструктура может предупредить водителя грузовика заблаговременно, что не следует продолжать дальнейшее движение. Разумный набор классов для автомобилей составляет: легковые автомобили, легкие грузовики, тяжелые грузовики, грузовики с одним или несколькими прицепами и легковые автомобили с прицепом [62].

### 1.3 Выводы по разделу 1

Были рассмотрены различные интеллектуальные транспортные системы. Описаны их достоинства и недостатки. Рассмотрены задачи решаемые этими системами. С каждым годом растет значимость создания ИТС. Ведь все это позволяет решать множество проблем дорожной безопасности.

Полученные результаты могут быть применены в реальных устройствах организации дорожного движения для построения интеллектуальных систем. Среди датчиков только акселерометры и WIM технологии могут определять классы ТС по количеству осей и расстоянию между осями – колесной базе. Эта классификация более точная, чем классификация по длине и может дать больше информации о ТС для дальнейшей обработки и анализа и использования в различных статистических и безопасности дорожного движения приложениях.

В этой работе используются акселерометры, поскольку они дешевле, чем многие другие датчики, и они могут использоваться для определения классов ТС по количеству осей и колесной базе и для измерения скорости автомобиля косвенно с помощью двух датчиков.

Основной задачей данной работы является определение классов ТС.

В этой работе будет сделана идентификация классов ТС в соответствии с их колесной базой. Но это будет сделано с помощью нового метода. Будут анализироваться вибрации поверхности дороги для этого. Никто не делал этого еще. *WIM*-технологии делают ту же идентификацию по колесной базе, но они измеряют вибрации автомобилей.

Магнитометры также дешевые датчиков и в этой работе они используются как дополнение к акселерометрам. Магнитометры могут дать информацию о ТС с близкого расстояния, расстояние между транспортными средствами менее 10 метров в этом случае. Показания акселерометров в таких случаях нуждаются в уточнении. Магнитометры также могут использоваться для определения классов ТС, но для этого необходимо анализировать магнитные сигнатуры ТС и иметь базу данных преобразованных каким-либо методом сигнатур.

1. В данной работе для обнаружения ТС предлагается и обосновывается использование одного акселерометра. Датчик устанавливается в дорожную разметку в отличие от работ других которые, предлагают устанавливать датчик непосредственно на дорожное покрытие. Такая установка акселерометра позволяет измерять вибрации дороги, которые вызваны проезжающими транспортными средствами. Другие исследователи использовали измерение вибраций самих ТС при их движении по акселерометру.
2. Для оценки скорости используется один магнитометр. Подобные задачи раньше решались с использованием этих датчиков, но другими способами. В ряде работ предложен метод оценки скорости с использованием двух магнитометров, за счет измерения времени проезда автомобиля от одного датчика к другому. Такой способ требует идеальной синхронизации датчиков, чего на практике сложно добиться. Вторым недостатком является то, что требуются два датчика.

В еще одной статье предлагается использовать лишь один магнетометр, но при этом оценка скорости производится путем деления среднестатистического магнитного пути на время проезда транспортного средства мимо датчика. Очевидно, что такой способ не учитывает индивидуальных параметров автомобиля и обладает существенной погрешностью. Таким образом, чтобы избежать данные проблемы, в данной работе ставится задача оценки скорости с использованием одного магнитометра. В работе описан алгоритм оценки скорости на основе измерения угла между осью датчика, перпендикулярной дороге, и автомобилем. При исследовании возможности применения магнитометра, была представлена модель магнитного поля и получены хорошие результаты оценки угла.

Был предложен метод оценки скорости транспортного средства на основе измерения магнитного пути. Проанализировав модель магнитного поля автор пришел к выводу, что у транспортных средств с одинаковыми магнитными свойствами магнитный путь пропорционален скорости. Таким образом, зная эталонный магнитный путь для данного класса – т.е. путь на известной скорости, можно определить скорость исследуемого автомобиля. При использовании данного метода вводится ряд допущений:

- Автомобиль движется по прямой линии по ближней к датчику полосе;
  - Между исследуемыми автомобилями должна соблюдаться такая дистанция, при которой отсутствует возмущение, вносимое одним автомобилем, на измерения магнитного поля другого.
3. Для определения классов ТС предлагается использовать сенсорный узел, представляющий собой комбинацию этих двух датчиков. Задача идентификации классов ТС по колесной базе с помощью одного сенсорного узла с такой комбинацией датчиков была решена впервые. И поэтому она является актуальной в настоящее время. Алгоритм определения классов ТС является логическим завершением комбинации двух алгоритмов- алгоритма обнаружения ТС и алгоритма определения скорости ТС.

В диссертации будет разработан и алгоритм определения скорости ТС с помощью одного магнитометра.

## **2 Оценивание скорости транспортного средства с использованием магнитометров**

### **2.1 Введение. Задача оценки скорости ТС**

Ставится задача оценки скорости ТС по показаниям одного магнитометра, вмонтированного в дорожное покрытие. Определение скорости предлагается выполнять в два этапа: по показаниям магнитометра определяется класс транспортного средства и его магнитная длина. По результатам сравнения полученной магнитной длины с соответствующим стандартным значением, взятым из базы данных для данного класса, определяется скорость. Согласно экспериментам, проведенным на реальной дороге, точность оценки составляет более 90%.

Для анализа текущей дорожной ситуации и выработки соответствующих рекомендаций, метод «совместной инфраструктуры» требует наличия следующей информации о каждом проезжающем транспортном средстве [62]: количество осей; скорость и курсовой угол; колесная база; боковое положение; нагрузка на оси; класс.

Целью данной работы является синтез алгоритма оценки скорости проезжающего транспортного средства, так как данный параметр играет важную роль при прогнозировании дальнейшего развития дорожной ситуации.

### **2.2 Теоретические основы**

В настоящее время существует множество различных средств мониторинга дорожной ситуации [80], которые можно разделить на стационарные, т.е. встраиваемые, внедряемые, в данном случае в дорожное покрытие и не стационарные.

Стационарные устройства (например, магнитометр, индуктивный петлевой датчик и др.) требуют монтажа чувствительных элементов непосредственно в дорожное покрытие.

Нестационарные устройства (радары, видеосистемы, ультразвуковые сенсоры и др.) размещаются вдоль полос движения и не требуют дополнительных дорожных работ. Тем не менее, данные системы требуют больших вычислительных мощностей и их стоимость на порядок выше стационарных, что особенно актуально, если учесть, что для реализации «совместной инфраструктуры» потребуется не одна тысяча таких устройств. Таким образом, использование стационарных средств предпочтительней.

В работах [15, 81–83] предложен метод оценки скорости с использованием двух магнитометров, за счет измерения времени проезда автомобиля от одного датчика к другому. Такой

способ требует идеальной синхронизации датчиков, чего на практике сложно добиться [54].

В [83] предлагается использовать лишь один магнитометр, но при этом оценка скорости производится путем деления среднестатистического магнитного пути на время проезда транспортного средства мимо датчика. Очевидно, что такой способ не учитывает индивидуальных параметров автомобиля и обладает существенной погрешностью. Таким образом, чтобы избежать проблемы синхронизации датчиков, в данной работе ставится задача оценки скорости с использованием одного сенсорного узла, состоящего из магнитометра.

Если представить транспортное средство как набор из  $i$  элементарных частей, каждая из которых обладает индивидуальным магнитным моментом, то движение автомобиля в магнитном поле можно рассматривать как движение результирующего магнитного момента, магнитное поле которого описывается уравнением Максвелла, в соответствии с принципом суперпозиции [84]:

$$\vec{B}(\vec{\mu}_i, \vec{r}_i) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{3(\vec{\mu}_i \cdot \vec{r}_i)\vec{r}_i - \mu_i |\vec{r}_i|^2}{|\vec{r}_i|^5}, \quad (2.1)$$

где  $\vec{B}$  – вектор магнитной индукции,  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\vec{\mu}_i$  – магнитный момент  $i$ -го диполя,  $\vec{r}_i$  – вектор, проведенный из начала координатной системы, связанной с датчиком, к  $i$ -му вектору магнитного момента.

### 2.3 Описание метода

Очевидно, что результирующий магнитный момент зависит от конструктивных особенностей автомобиля (форма кузова, материалы и т.д.), а это значит, что для автомобилей одинаковой конструкции можно говорить о равенстве векторов результирующих магнитных моментов  $\vec{\mu}_{\text{total}}$ . Отсюда можно сделать вывод, что автомобили одного класса, а значит и примерно одинакового конструктивного исполнения, вносят одинаковые возмущения в магнитное поле датчика [11].

Предположим теперь, что автомобили одного класса (а значит с одинаковыми векторами результирующих магнитных моментов  $\vec{\mu}_{\text{total}}$ ) движутся по одной линии относительно датчика с одинаковыми скоростями  $V$  (т.е.  $\vec{r}_i$  для данных ТС равны), и проходят расстояние  $S$  за  $t$  секунд. В таком случае, согласно формуле (2.1), результаты измерений проекций  $B_x$  и  $B_y$  будут равны, а также будут равны и углы  $\alpha$ , рассчитанные по формуле

$$\alpha(t) = \arctan \left( \frac{B_x(t)}{B_y(t)} \right). \quad (2.2)$$

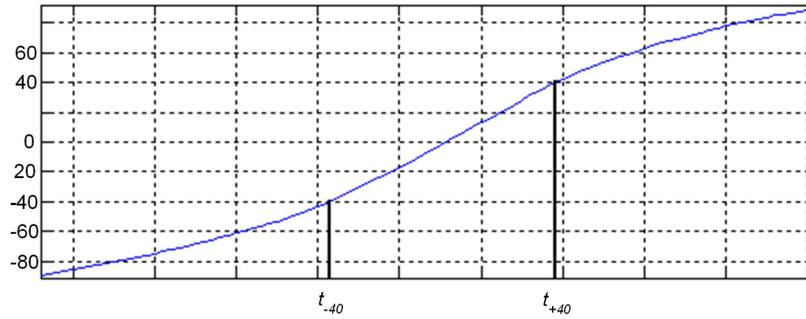


Рисунок 2.1 — Магнитный путь автомобиля.

Обозначив за  $t_{-40}$  время, при котором  $\alpha(t) = -40$  град, а за  $t_{+40}$  время, при котором  $\alpha(t) = +40$  град, временной интервал между ними (см. рисунок 2.1) найдем по формуле

$$t_M = t_{+40} - t_{-40}. \quad (2.3)$$

Тогда путь (назовем его *магнитным путем*  $S_M$ ), пройденный автомобилем за время  $t_M$  можно найти по формуле

$$S_M = (t_{+40} - t_{-40}) \cdot V = t_M \cdot V, \quad (2.4)$$

где  $V$  — скорость автомобиля.

Предположим теперь, что автомобили движутся по прямой линии перпендикулярной (или параллельной) осям датчика. Тогда магнитный путь  $S_M$ , согласно формулам (2.1), (2.4), зависит от:

- Скорости  $V$  транспортного средства;
- Расстояния от траектории движения до датчика — т.к. при изменении данного расстояния изменится и  $\vec{r}(t)$ ;
- Класса транспортного средства — т.к. от класса будет зависеть и  $\vec{m}_{total}$ .

Таким образом, сделав допущение, что расстояние от траектории движения до датчика постоянное для всех исследуемых ТС — т.е. ограничившись тем, что производится оценка скорости автомобилей, движущихся только по ближней к датчику полосе, для ТС одного класса получим одинаковое значение магнитного пути  $S_M$ :

$$S_M = t_{M1} \cdot V_1 = t_{M2} \cdot V_2 = \dots = t_{Mn} \cdot V_n, \quad (2.5)$$

где  $n$  — количество исследуемых автомобилей одного класса.

Создав экспериментальным путем базу данных, в которой для каждого класса записаны эталонные значения  $t_{ME}$  для известной скорости  $V_E$ , неизвестную нам скорость найдем по

формуле, вытекающей из уравнения (2.5):

$$V = \frac{t_{ME} \cdot V_E}{t_M}, \quad (2.6)$$

где  $t_M$  – время, за которое исследуемый автомобиль проезжает магнитный путь  $S_M$ .

## 2.4 Обработка сигнала

В данном параграфе проведем сравнение различных методов фильтрации шумовых воздействий и помех.

Можно оптимизировать схему фильтра в смысле обеспечения максимально плоской характеристики в полосе пропускания за счет уменьшения крутизны перехода от полосы пропускания к полосе задерживания. С другой стороны, допуская некоторую неравномерность характеристики в полосе пропускания, можно добиться более крутого перехода от полосы пропускания к полосе задерживания. Третий критерий, который может оказаться важным, описывает способность фильтра пропускать сигналы со спектром, лежащим в полосе пропускания, без искажений их формы, вызываемых фазовыми сдвигами. Можно также интересоваться временем нарастания, выбросом и временем установления [85, 86].

Известны методы проектирования фильтров, пригодные для оптимизации любой из этих характеристик или их комбинаций. Действительно разумный выбор фильтра происходит не так, как описано выше; как правило, сначала задаются требуемая равномерность характеристики в полосе пропускания и необходимое затухание на некоторой частоте вне полосы пропускания и другие параметры. После этого выбирается наиболее подходящая схема с количеством полюсов, достаточным для того, чтобы удовлетворялись все эти требования [87, 88].

Далее будут рассмотрены несколько типов фильтров, которые возможно использовать для обработки сигнала

1) Фильтр нижних частот – один из видов фильтров, эффективно пропускающий частотный спектр сигнала ниже некоторой частоты (частоты среза), и уменьшающий (подавляющий) частоты сигнала выше этой частоты. Степень подавления каждой частоты зависит от вида фильтра [85–88].

Виды фильтров нижних частот: фильтр Чебышева; фильтры Баттерворта; эллиптический фильтр; фильтр Бесселя.

2) Вейвлет фильтр

Вейвлеты представляют собой особые функции в виде коротких волн (всплесков) с ну-

левым интегральным значением и с локализацией по оси независимой переменной (времени), способных к сдвигу по этой оси и масштабированию. Любой из материнских вейвлетов порождает полную ортогональную систему. В случае вейвлет анализа (декомпозиции) сигнала благодаря изменению масштаба вейвлеты способны выявить различие в характеристиках сигнала на различных уровнях разложения сигнала, а посредством сдвига можно проанализировать свойства сигнала в различных точках на всем временном интервале [89].

Непрерывное вейвлет преобразование имеет большую избыточность и требует значительных вычислительных ресурсов, поэтому на практике чаще применяют дискретное вейвлет преобразование, основанное на использовании алгоритма Малла. В соответствии с этим алгоритмом сигнал раскладывается на аппроксимирующие (низкочастотные) и детализирующие (высокочастотные) компоненты.

Шумовые компоненты, как правило, проявляются в детализирующих коэффициентах вейвлет-разложения. Таким образом, ограничив по уровню детализирующие коэффициенты, перед восстановлением сигнала, можно уменьшить уровень шумов. При этом возможно как глобальное ограничение всех коэффициентов по уровню, так и локальное ограничение по каждому уровню разложения.

### 3) Фильтрация методом скользящего среднего.

Скользящее среднее – один из распространенных методов сглаживания временных рядов. Данный метод широко используется для отображения изменений. Метод так же может быть весьма полезен в цифровой обработке сигналов для устранения высокочастотных составляющих и шумов, то есть он может быть использован в качестве фильтра низких частот. Простое скользящее среднее прекрасно подходит для устранения высокочастотных шумовых составляющих из сигнала при его обработке, когда к фильтру не предъявляется высоких требований по фазочастотной характеристике, крутизне среза и т.д. Например, при устранении из оцифрованного сигнала информации.

Главным достоинством алгоритма простого скользящего среднего являются простота его реализации и нетребовательность к вычислительным ресурсом по сравнению с цифровыми фильтрами, реализующимися дискретной линейной сверткой.

#### 1) *Фильтр нижних частот.*

Для синтеза использована функция *ellip* библиотеки обработки сигналов (*Signal Processing Toolbox*) пакета МАТЛАВ. Выбрана частота среза 7 Гц.

#### 2) *Вейвлет-фильтр.*

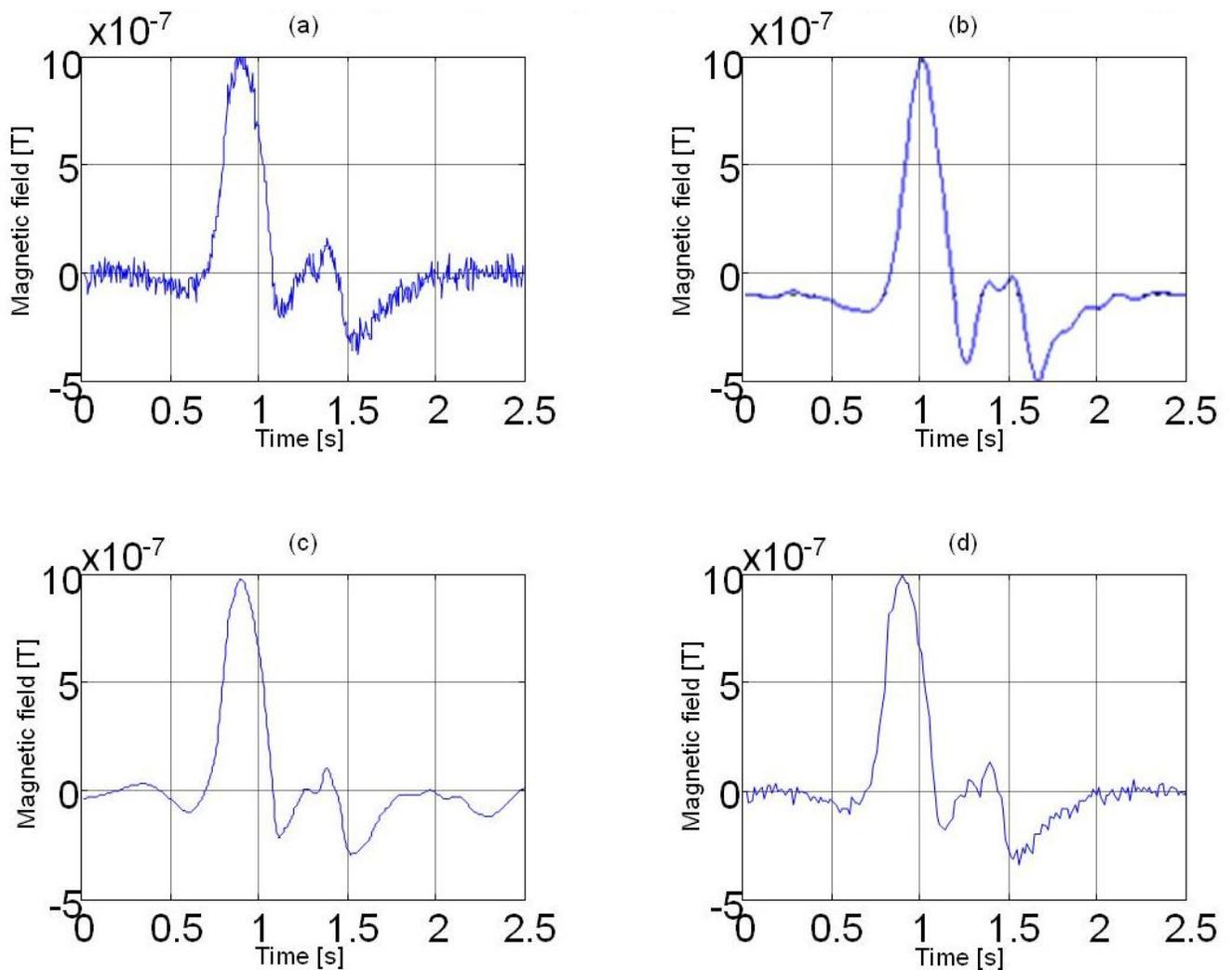


Рисунок 2.2 — Сравнение различных методов обработки сигнала: исходный сигнал (a), сигнал после обработки фильтром нижних частот (b), вейвлет фильтром (c) и методом скользящего среднего (d).

Для синтеза использована библиотека вейвлетов (*Wavelet Toolbox*) пакета МАТЛАВ. В качестве вейвлет-функции использовалась функция Добеши седьмого порядка, количество уровней разложения сигнала так же равно семи.

### 3) Метод скользящего среднего (*moving average*).

В данном методе обработки используется сглаживание сигнала путем замены  $n$  точек данных их средним значением. В данной работе принято  $n = 3$ .

На рисунке 2.2 приведены графики исходного сигнала – измерения осью  $X$  магнитометра для машины с прицепом (a) и результаты обработки: фильтром нижних частот (b), вейвлет фильтром (c) и методом скользящего среднего (d).

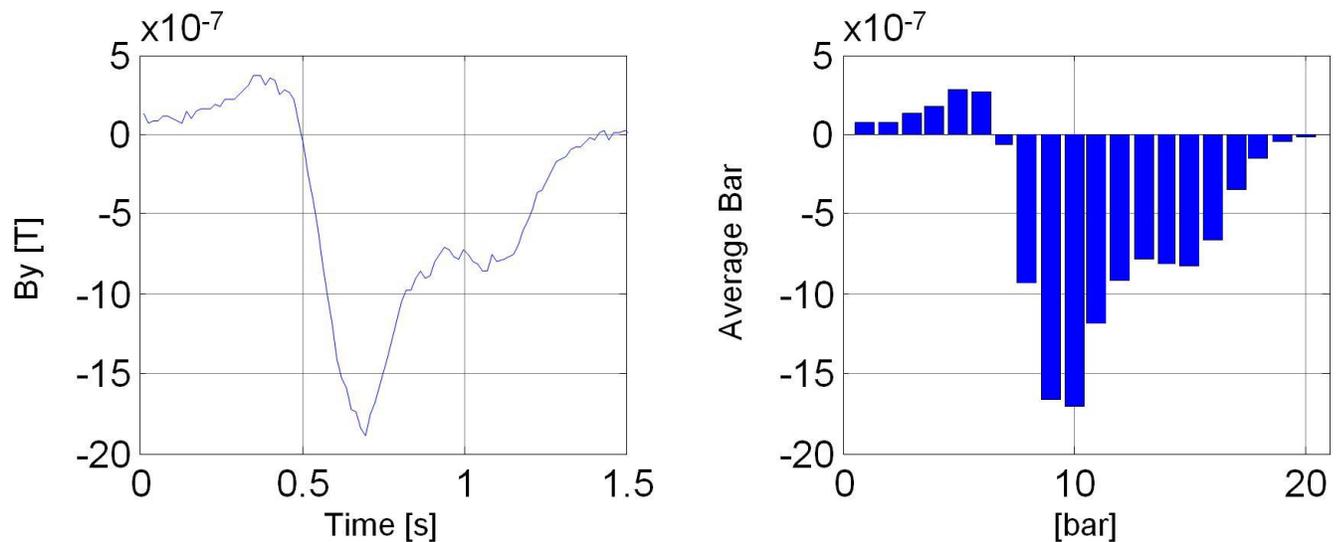


Рисунок 2.3 — Нахождение среднего значения измерений оси  $Y$  для пассажирского автомобиля с прицепом на скорости 50 км/ч.

Как видно из рисунков все фильтры неплохо справились со своей задачей, но фильтр нижних частот вносит в сигнал временное смещение, а вейвлет фильтр требует значительных вычислительных мощностей, поэтому в дальнейшем будем использовать метод скользящего среднего.

## 2.5 Алгоритм определения классов ТС

Для определения скорости автомобиля по формуле (2.6) необходимо знать его класс, причем согласно *FHWA* автомобили классифицируются по количеству осей и расстоянию между ними [39, 48, 69]. В данной работе исследуется другой способ классификации автомобилей – по их магнитным свойствам, т.е. по магнитному пути на фиксированной скорости, например, при  $V_E = 30$  км/ч.

Для определения классов ТС используем метод среднего значения (англ. *Average-Bar*) [82]. Данный метод предполагает определять классы ТС по их «подписям» – измерениям проекций  $B_x$ ,  $B_y$  и  $B_z$ .

В соответствии с методом среднего значения, измерения магнитометра в промежутке времени въезда и выезда автомобиля в зону чувствительности датчика ( $t_A$  до  $t_D$  соответственно) по каждой оси разделяются на 20 окон, и для каждого окна находится среднее значение (рисунок 2.3). Полученные средние значения нормируются в пределах  $[-1, 1]$  (рисунок 2.4).

Нормированные значения  $x_{\text{measured}}$  сравниваются с эталонными значениями  $x_{\text{etalon}}$ , запи-

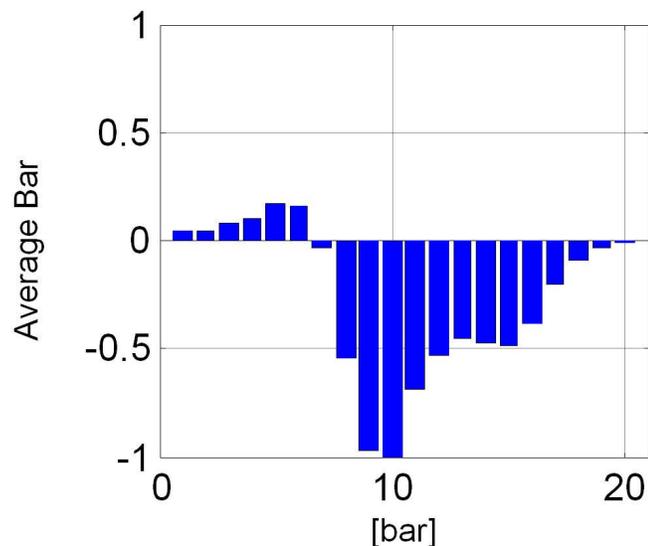


Рисунок 2.4 — Нормированное среднее значение.

санными в базе (см. таблицу 2.1) – для этого вычисляется евклидово отклонение по всем трем осям для каждого из 20 окон:

$$E_d = \sqrt{\sum_{i=1}^{60} (x_{\text{etalon}} - x_{\text{measured}})^2} \quad (2.7)$$

Таблица 2.1 — Структура базы данных.

№класса	Нормированные значения подписи				$V_E$	$S_{ME}$	$t_{ME}$
1	$x_{\text{etalon } 1,1}$	$x_{\text{etalon } 1,2}$	...	$x_{\text{etalon } 1,60}$	$V_{E,1}$	$S_{M E,1}$	$t_{M E,1}$
2	$x_{\text{etalon } 2,1}$	$x_{\text{etalon } 2,2}$	...	$x_{\text{etalon } 2,60}$	$V_{E,2}$	$S_{M E,2}$	$t_{M E,2}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$x_{\text{etalon } n,1}$	$x_{\text{etalon } n,2}$	...	$x_{\text{etalon } n,60}$	$V_{E,n}$	$S_{M E,n}$	$t_{M E,n}$

Для снижения вычислительных затрат, что особенно актуально при использовании микроконтроллера, можно использовать процедуру сжатия данных [90] и вместо 60 точек  $x_{\text{measured}}$  и  $x_{\text{etalon}}$  использовать только пять [82], но такое сокращение может привести к росту ошибок при классификации автомобиля.

## 2.6 Алгоритм оценки скорости ТС

В соответствии с описанным выше методом, оценка скорости проводится по следующему плану [11]:

1. Сравнивая методом среднего значения данные, полученные в результате измерений, и данные, хранящиеся в базе, определяется класс транспортного средства.

2. По формулам (2.2), (2.3) рассчитываются значения функции  $\alpha(t)$  и находится значение  $t_M$ .

3. Зная  $t_{ME}$  и  $V_E$  для данного класса, по формуле (2.6) находится скорость исследуемого автомобиля. Для автоматизированного определения скорости была написана соответствующая программа для пакета МАТЛАВ, см. приложение А.

Заявка на европейский патент [8], подготовленная с участием автора в составе группы исследователей из Швеции, раскрывает способ определения скорости транспортного средства, проезжающего мимо магнитометра. Способ включает: генерацию магнитного сигнала  $B(T)$ , определение функции  $(t)$ , в котором это аргумент полярного представления проекции поля  $B$  на магнитной плоскости, определения магнитного время на основе функции  $(t)$ ; определения магнитного класса, проходящего транспортного средства путем сравнения с бд, часть генерируемого магнитного сигнала  $B(T)$  против множества заданных опорных магнитных сигналов, определения скорости  $V$  транспортного средства на основе магнитного момента транспортного средства, и связь магнитного времени  $(T)$  и контрольной скорости, соответствующей определенному магнитной класса  $TC$ . Приложение также раскрывает способ классификации транспортного средства, на основе определенной скорости  $V$ . Кроме того, применение раскрывает устройство датчика для выполнения описанных способов.

Мониторинг дорожного движения является важным инструментом для управления трафиком и для развития инфраструктуры. Один общий параметр трафика, который требуется для измерения является скорость транспортного средства. Информация о скорости может быть использована, например, для сбора статистики трафика для конкретной дороги, для проведения регулировки скорости, или для классификации транспортных средств, движущихся по проезжей части.

Общая техника для измерения скорости транспортного средства заключается в размещении пары генераторов сигналов, таких как пьезоэлектрические кабели, пневматические трубки (и другие), через проезжую часть. Когда транспортное средство проходит над генераторами сигналов, сигналы порождаются генераторами сигналов. На основе сигналов, время прохождения транспортного средства между парой генераторов сигналов может быть определено. Зная расстояние между генераторами сигналов, можно определить скорость транспортного средства.

Также существуют датчики, которые расположены на проезжей части для бесконтактного измерения скорости транспортного средства. Примерами таких датчиков скорости являются видеорекамеры и ручные радары.

Тем не менее, большинство существующих методов имеют недостатки, такие как большое энергопотребление, дороговизна, необходимость ручной обработки, и наличие большой погрешности оценки скорости. Таким образом, существует необходимость в разработке усовершенствованного метода для определения скорости транспортного средства.

## 2.7 Результаты эксперимента

В данном параграфе представлены результаты проверки работоспособности алгоритма. В качестве анализируемых данных использовались измерения, полученные в ходе 20 экспериментов на полигоне *Arctic Falls* (Швеция) с транспортными средствами четырех различных классов (по *FHWA*): микроавтобус; автомобиль с прицепом; грузовой автомобиль; грузовик с прицепом, движущимися по ближней, относительно датчика, полосе на скоростях 30, 40, 50, 60 и 70 км/ч. Для измерения реальной скорости использовался датчик фирмы *Racelogic*, точность которого составляет 0.1 км/ч.

В качестве эталонных, для каждого из представленных классов, были взяты данные, полученные на скорости 30 км/ч (рисунок 2.5).

Как видно из рисунка 2.5, данные значительно отличаются, и разделение автомобилей на классы по их магнитным свойствам соответствуют классификации *FHWA* (таблица 2.2).

Таблица 2.2 — Классификация исследуемых ТС по их магнитным свойствам.

Исследуемое транспортное средство	Название класса	Магнитный путь $S_{ME}$ , м	Временной интервал $t_{ME}$ , с
<i>Renault Passenger</i>	Микроавтобус	6.095	0.731
<i>Saab 93</i> с прицепом	Автомобиль с прицепом	8.954	1.074
<i>Scania 144g</i>	Грузовой автомобиль	10.78	1.294
<i>Scania 144g</i> с прицепом	Грузовик с прицепом	20.504	2.460

В качестве примера, иллюстрирующего работу алгоритма, рассмотрим задачу оценки скорости автомобиля с прицепом в соответствии с планом (реальная скорость данного автомобиля равна 50 км/ч):

1. В результате работы программы класс транспортного средства найден правильно –

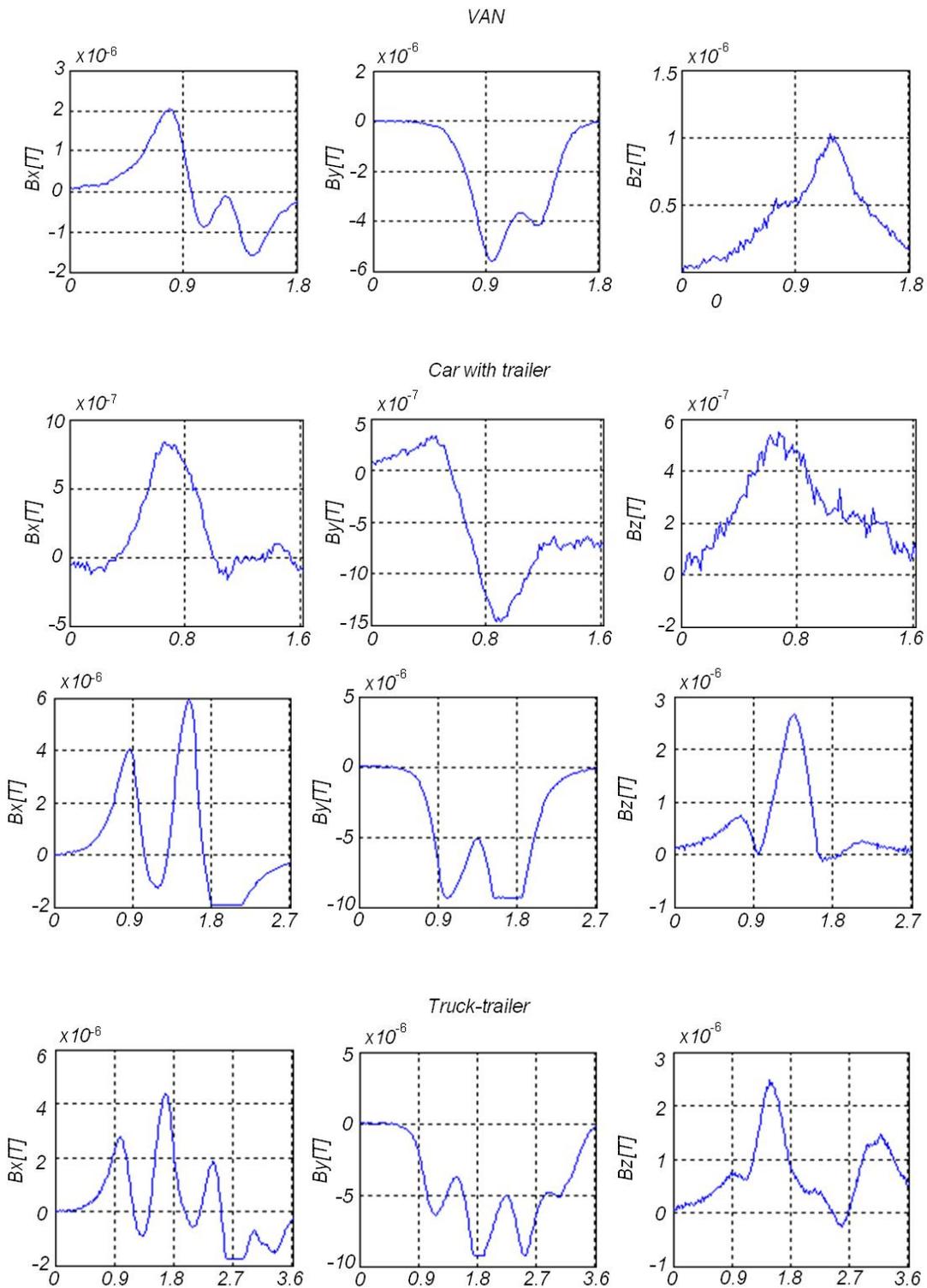


Рисунок 2.5 — Измерения проекций магнитного поля  $B_x$ ,  $B_y$  и  $B_z$  для каждого из рассматриваемых классов автомобилей, движущихся на скорости 30 км/ч.

«автомобиль с прицепом». На рисунке 2.6 представлены рассчитанное нормированное среднее значение подписи исследуемого автомобиля и эталонное, взятое для данного класса из базы.

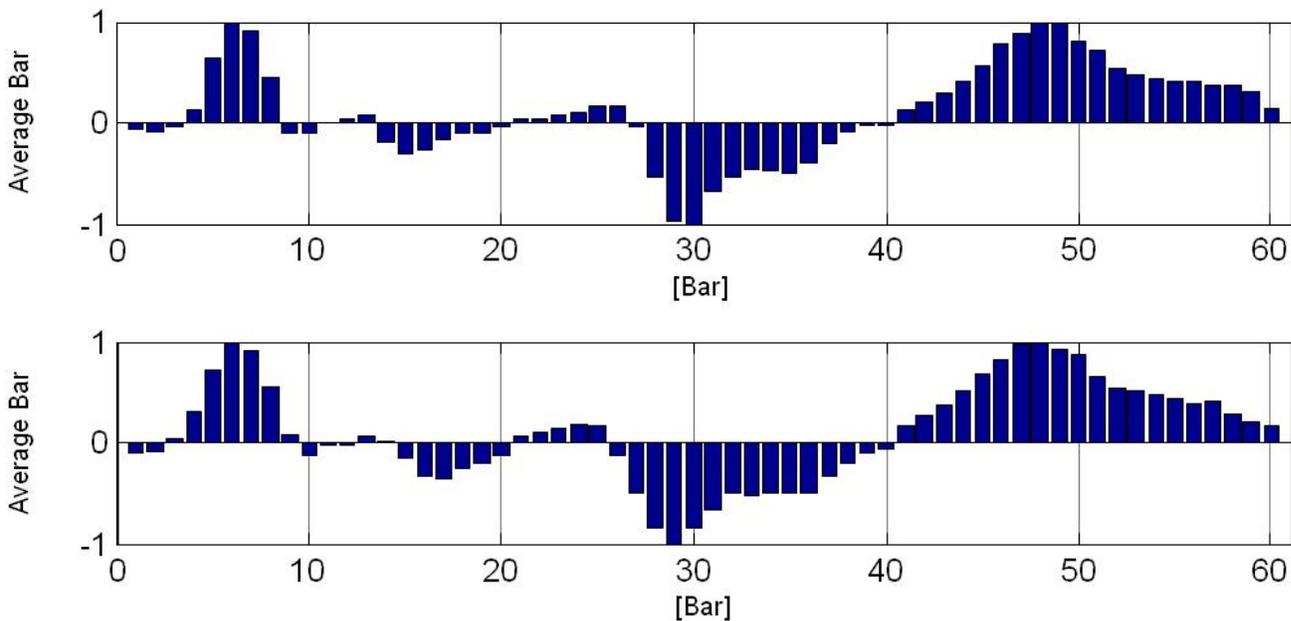


Рисунок 2.6 — Нормированное среднее значение подписи исследуемого автомобиля (верхний рисунок) и эталонное (нижний рисунок), взятое для данного класса из базы.

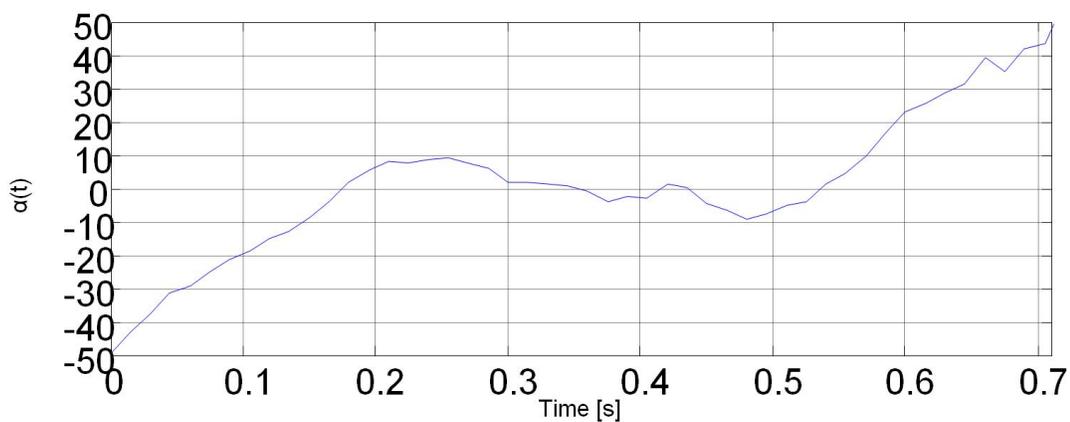


Рисунок 2.7 — График функции  $\alpha(t)$  для автомобиля с прицепом, движущегося со скоростью 50 км/ч.

Евклидово отклонение составило всего 0.896, в то время как второе минимальное значение равно 2.088, что говорит о запасе погрешности при определении класса.

2. На рисунке 2.7 представлены результаты вычисления функции  $\alpha(t)$ . Значение временного интервала определено как  $t_M = 0.663$  с.

3. По формуле (2.6) найдена скорость:

$$V = \frac{t_{ME} \cdot V_E}{t_M} = \frac{1.074 \cdot 30}{0.6631} \approx 48.6 \text{ км/ч.}$$

Таким образом, относительная погрешность оценки скорости составила всего:

$$error = \frac{50 - 48.6}{50} = 2.8\%.$$

Аналогичным образом были проверены остальные 13 наборов экспериментальных данных. Максимальная ошибка измерения составила 8.67% [14], (см. таблицу 2.3).

Таблица 2.3 — Результат работы алгоритма оценки скорости на основе измерения магнитного пути.

№ п/п	Исследуемое транспортное средство	Результат оценки класса	Оценка скорости, км/ч	Истинная скорость, км/ч	Ошибка, %
1	<i>Saab 93</i> с прицепом	автомобиль с прицепом	эталон		
2	<i>Saab 93</i> с прицепом	автомобиль с прицепом	40.08	40	0.19
3	<i>Saab 93</i> с прицепом	автомобиль с прицепом	48.61	50	2.77
4	<i>Saab 93</i> с прицепом	автомобиль с прицепом	56.75	60	5.41
5	<i>Saab 93</i> с прицепом	автомобиль с прицепом	67.66	70	3.34
6	<i>Renault Passenger</i>	микроавтобус	эталон		
7	<i>Renault Passenger</i>	микроавтобус	плохие данные измерений		
8	<i>Renault Passenger</i>	микроавтобус	46.93	50	6.14
9	<i>Renault Passenger</i>	микроавтобус	54.80	60	8.66
10	<i>Renault Passenger</i>	микроавтобус	64.67	70	7.61
11	<i>Scania 144g</i>	грузовой автомобиль	эталон		
11	<i>Scania 144g</i>	грузовой автомобиль	41.29	40	3.24
12	<i>Scania 144g</i>	грузовой автомобиль	50.56	50	1.12
13	<i>Scania 144g</i>	грузовой автомобиль	61.24	60	2.07
14	<i>Scania 144g</i>	грузовой автомобиль	70.54	70	0.78
15	<i>Scania 144g</i>	грузовой автомобиль	70.54	70	0.78

Продолжение таблицы 2.3.

№ п/п	Исследуемое транспортное средство	Результат оценки класса	Оценка скорости, км/ч	Истинная скорость, км/ч	Ошибка, %
16	<i>Scania 144g</i> с прицепом	грузовик с прицепом	эталон		
17	<i>Scania 144g</i> с прицепом	грузовик с прицепом	плохие данные измерений		
18	<i>Scania 144g</i> с прицепом	грузовик с прицепом	50.94	50	1.89
19	<i>Scania 144g</i> с прицепом	грузовик с прицепом	61.31	60	2.19
20	<i>Scania 144g</i> с прицепом	грузовик с прицепом	71.91	70	2.74

## 2.8 Выводы по разделу 2

В данной главе ставилась задача оценки скорости автомобиля по результатам измерений одного магнитометра, расположенного на дорожном покрытии.

Предложен метод оценки скорости транспортного средства на основе измерения магнитного пути [11]. Проанализировав модель магнитного поля, автор пришел к выводу, что у ТС с одинаковыми магнитными свойствами магнитный путь пропорционален скорости. Таким образом, зная эталонный магнитный путь для данного класса – т.е. путь на известной скорости, можно определит скорость исследуемого автомобиля. При использовании данного метода вводится ряд допущений:

- Автомобиль движется по прямой линии по ближней к датчику полосе;
- Предполагается, что автомобили не перевозят металлические предметы, которые могут внести дополнительные возмущения в измеряемом магнитном поле;
- Между исследуемыми автомобилями должна соблюдаться такая дистанция, при которой отсутствует возмущение, вносимое одним автомобилем, на измерения магнитного поля другого.

При такой постановке задачи оценка скорости осуществляется с точностью более 90% . Погрешность в 10% можно объяснить наличием помех и небольшим варьированием расстояния между датчиком и траекторией движения транспортного средства при эксперименте. Так

же стоит заметить, что при исследовании реального дорожного трафика, разница магнитных путей между соседними классами будет незначительной, так же, как будут и незначительными различия магнитных подписей, так что случаи неправильной определении классов ТС возможны, но они не приведут к значительным ошибкам оценки скорости. Ввиду того, что данный алгоритм предполагается реализовать с использованием микроконтроллеров, а сами сенсорные узлы будут вмонтированы в асфальт, предусмотрен способ снижения потребляемой энергии и вычислительных мощностей за счет использования метода сжатия данных [90].

В [82–84] предложены алгоритмы оценки скорости с использование двух сенсорных узлов, за счет измерения времени проезда автомобиля от одного датчика к другому. При такой постановке возникает проблема синхронизации данных [57], а оценки скорости получаются с большой погрешностью. Таким образом, удалось решить данную проблему, используя данные только с одного сенсорного узла.

Основные результаты раздела опубликованы в [11,14].

### **3 Обнаружение транспортных средств с помощью акселерометров**

В данном разделе рассматриваются проблемы обнаружения ТС с помощью акселерометров. Описан алгоритм для обнаружения ТС и разделения по времени одного автомобиля от другого. Приведены результаты обработки данных с помощью алгоритма, демонстрирующие его эффективность.

#### **3.1 Мотивация для разработки**

Есть много систем, доступных для транспортного мониторинга и определения ТС. Индуктивные петли, например, обычно используются для подсчета ТС и при использовании в парах, они могут быть использованы также для оценки скорости [39, 41, 45]. Недостатком петель является то, что необходимо перекрывать движение транспорта при монтаже датчиков. Кроме того, датчики быстро изнашиваются из-за прямого воздействия ТС. Индуктивные петли не могут быть развернуты в больших масштабах, так как это будет слишком дорого, занимает много времени и датчики сами по себе имеют слишком короткий срок службы [39, 41]. Некоторые из проблем индуктивных петель могут быть преодолены с помощью применения других видов датчиков: видеокамер, инфракрасных, микроволновых и ультразвуковых радаров [45]. Такие датчики могут быть установлены вдоль дорог легко, не приводя к нарушению дорожного движения во время установки. Однако, для таких систем нужна большая вычислительная мощность и, следовательно, они слишком дорогие для широкомасштабного развертывания [39, 41, 45, 62].

Перспективным подходом является использование магнитометров для обнаружения ТС и много исследований было проведено в этой области [66, 74, 75, 77, 91]. Магнитометры могут быть изготовлены в больших количествах и они дешевы. Они могут быть использованы там, где индуктивные петли не представляется возможным использовать, например, на мостах [45]. Магнитометры менее восприимчивы, чем индуктивные петли к влиянию движения.

Можно интегрировать эти датчики в очень небольшие системы и, следовательно, они могут быть развернуты в больших масштабах за разумную цену. Недостатком магнитометров являются то, что они могут в основном только обнаруживать транспортные средства и делать основную простую идентификацию классов ТС. Для оценки более сложных параметров, таких как скорость ТС, по крайней мере, два таких датчика необходимы, и они должны быть идеально синхронизированы [39, 45, 66, 74]. Есть методы определения скорости ТС с одним

магнитометром, но точность их недостаточно высока.

Чтобы преодолеть эти ограничения, автором был выбран другой подход. Вибрации дорожного покрытия, вызванные транспортными средствами могут нести больше информации, чем можно получить по отклонению магнитного поля Земли, измеряемого индуктивными петлями или магнитометрами. Малые размеры электронных акселерометров могут быть обеспечены таким же образом, как и магнитометров [53, 62].

Малые встраиваемые систем похожи на системы с магнитометрами, упомянутыми выше. Они могут быть развернуты быстро и в больших масштабах, например, на стороне дороги. Несколько исследований, посвященных влиянию транспорта на дорожное покрытие были проведены в [52, 92–94]. Однако лишь минимальные выводы были сделаны, чтобы связать вибрации транспорта с оценкой параметров движения. В работах [91, 94] дается более развернутое исследование акселерометров, но имеется ограничение в разработанных алгоритмах обнаружения ТС и подсчета количества ТС [53, 62]. Проблема такого подхода заключается в том, что в них используется априори информация о количестве осей ТС, которая не дает возможности практического применения данных алгоритмов.

В настоящей работе предлагается решение данной проблемы и восполняется пробел в теоретической информации о дорожных вибрациях, вызванных проезжающими ТС.

### 3.2 Реализация алгоритма

Общим и простым предположением при рассмотрении транспортного средства, движущегося вдоль дороги, является, что каждая колесная пара (ось) вызывает вибрацию, распространяющуюся в асфальте как волна. Поэтому для транспортного средства с  $M$  осями вибрации можно рассматривать как происходящие из  $M$  эквивалентных источников, как показано на рисунке 3.1 [12].

Соответственно, вибрации, происходящие от различных осей достигают датчика с задержкой  $\Delta t$  в зависимости от колесной базы  $b$  (пространственное разделение источников) и скорости ТС  $V$ . Отметим, что существует двойственность между колесной базой и скоростью:

$$\Delta t = b/V. \quad (3.1)$$

Модель вибрационной характеристики одной оси может быть описана импульсом  $p_i(t)$ , имеющим определенную амплитуду и ширину. Форма импульса может быть представлена



Рисунок 3.1 — Эквивалентный источник вибрации.

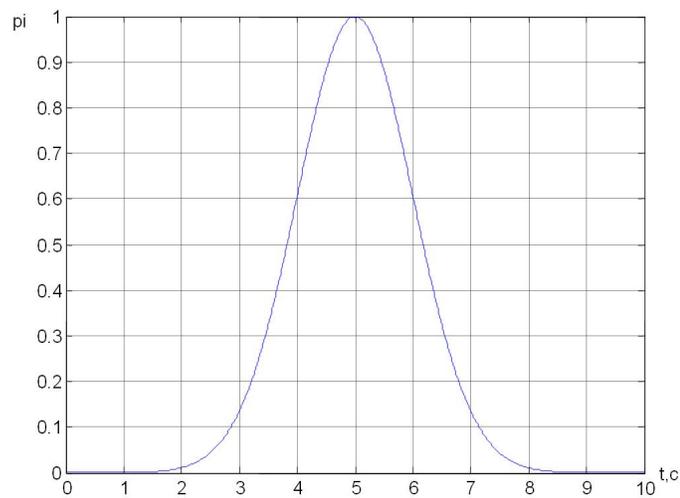


Рисунок 3.2 — Модель вибрационной характеристики одной оси  $p_i(t)$ .

гауссовой кривой [12,62]

$$p_i(t) = A_i \exp(-a_i(t - t_i)^2)/2, \quad (3.2)$$

где параметры  $A_i$ ,  $a_i$ ,  $t_i$  определяют ширину, амплитуду и смещение импульса от начала координат. Пример импульса с параметрами  $A_i = 1$ ,  $a_i = 2$ ,  $t_i = 5$  с представлен на рисунке 3.2.

Для ТС, которое имеет  $n$  осей, модель может быть представлена как суперпозиция им-

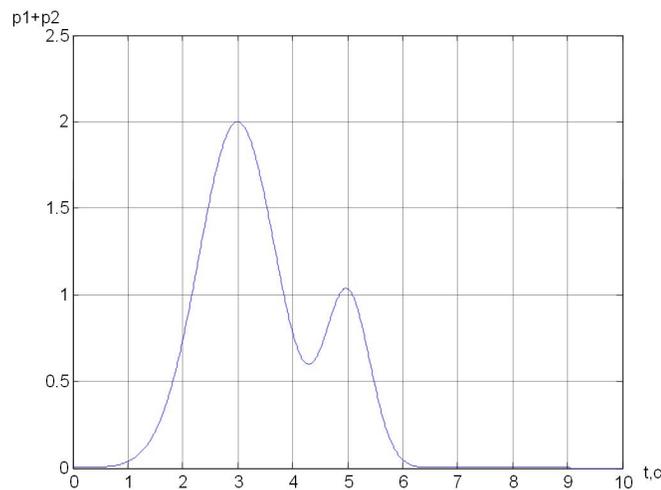


Рисунок 3.3 — Модель вибрационной характеристики легкового автомобиля.

пульсов  $p_i(t)$ :

$$M(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t). \quad (3.3)$$

Например, для легкового автомобиля  $n = 2$ ,  $A_1 = 2$ ,  $a_1 = 2$ ,  $t_1 = 3$  с,  $A_2 = 1$ ,  $a_2 = 6$ ,  $t_2 = 5$  с, см. рисунок 3.3.

В модели также должны учитываться помехи  $\xi(t)$  как показано на рисунке 3.4. Тогда вместо (3.3) используется выражение

$$M(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t) + \xi(t), \quad (3.4)$$

в котором помеха  $\xi(t)$  может быть представлена как квадрат белого гауссовского шума.

Если временной интервал  $\Delta t$  умножить на скорость автомобиля  $V$ , получим *колесную базу*  $W$  – расстояние между соседними осями автомобиля

$$W = \Delta t \cdot V. \quad (3.5)$$

Модель (3.4) вибрационной характеристики используется в данной работе для разработки алгоритма обнаружения ТС и подсчета количества его ТС.

Алгоритм обнаружения ТС представлен на рисунке 3.5 и заключается в выполнении следующих операций.

1) Исходные данные, полученные с акселерометров, фильтруются полосовым фильтром, потому что рассматриваем частотный диапазон, соответствующий области максимальных амплитуд сигнала. Предварительная обработка сигналов с помощью быстрого преобразования Фурье и

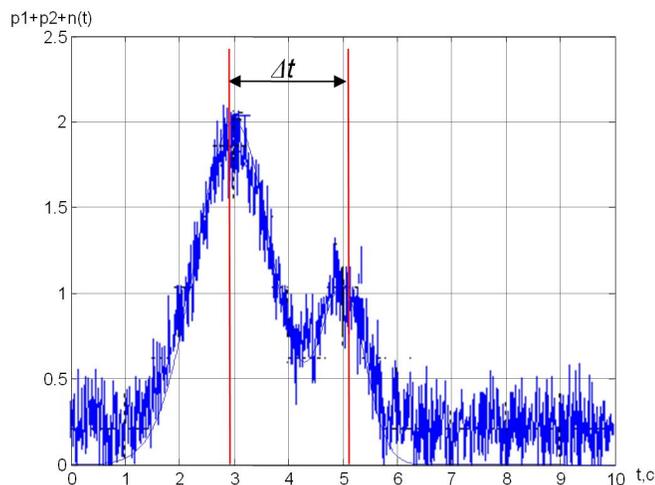


Рисунок 3.4 — Характерный график вибрационной характеристики сигнала легкового автомобиля с помехами.

короткооконного преобразования Фурье выполняется в некотором диапазоне частот  $[f_b, f_u]$  [Гц], где  $f_b, f_u$  — подлежащие выбору параметры алгоритма. Такая обработка необходима для исключения низкочастотных и высокочастотных помех. Рекомендуется использование эллиптического фильтра, потому что он обеспечивает максимальное затухание сигнала в полосе задерживания [5.5]. Частоты среза ПФ  $f_b, f_u$  выбираются на основе предварительной обработки данных и анализе спектральных характеристик. Экспериментально получены значения  $f_b = 850$  Гц,  $f_u = 1750$  Гц.

2) Данные, полученные на выходе полосового фильтра, возводятся в квадрат:  $z(iT) = y(iT)^2$ , где  $i = 0, 1, 2, \dots$  — дискретное время;  $T$  — интервал квантования (величина, обратная частоте дискретизации датчика).

3) Найденные значения сигнала сравниваются с порогом, все значения, которые меньше порога, обнуляются:

$$\text{threshold} = \alpha \cdot \max_{i=0,1,\dots,k} (z)$$

$$z(iT)^* = \begin{cases} z(iT), & \text{если } z(iT) \geq \text{threshold}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Экспериментально получено рекомендованное значение  $\alpha = 0.02$ .

Выполняется сглаживание данных с помощью скользящего окна с временем сглаживания  $t$ , после чего сигнал  $z(it)$  фильтруется эллиптическим фильтром нижних частот (ФНЧ).

Полученные значения сравниваются с порогом; величинам, не превосходящим порога,

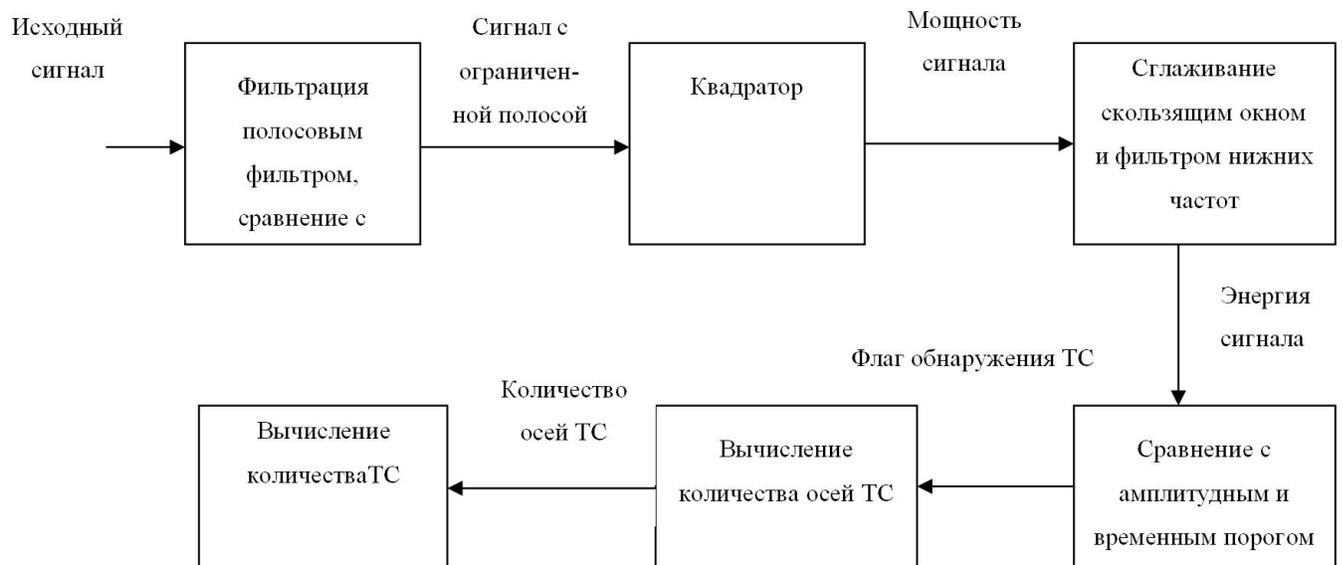


Рисунок 3.5 — Последовательность действий по обнаружению и подсчету количества ТС.

присваивается нулевое значение:

$$\sigma(i)^* = \begin{cases} \sigma(i), & \text{если } \sigma(i) \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

$$\text{threshold} = \begin{cases} \alpha_1 \cdot \max_{i=0,1,\dots,k} (\sigma), & \text{если } y_f > 5 \cdot 10^{-5}, \\ \alpha_2 \cdot \max_{i=0,1,\dots,k} (\sigma), & \text{иначе.} \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, k,$$

где  $y_f$  – сигнал на выходе ФНЧ. Значения  $\alpha_1 = 0.33$ ,  $\alpha_2 = 0.22$  найдены экспериментально.

4) Амплитудный и временной порог используются для удаления пиков с малой амплитудой и маленькой шириной импульса (временной порог).

Если сигнал выше порогов обнаружения, то выдается флаг обнаружения ТС.

5) Для вычисления количества осей ТС используется алгоритм поиска максимумов кривой  $y_i$ . Этот алгоритм анализирует производную  $y_i$  для поиска максимумов, и найденное число максимумов кривой соответствует количеству осей ТС.

Мощность сигнала  $w[n]$  вычисляется как квадрат сигнала на выходе полосового фильтра. Рассмотрим сглаживание «скользящим окном» подробнее. Сигнал энергии оценивается локально путем интегрирования мощности сигнала в течение последних  $K$  образцов (сглаживанием скользящим окном). Результирующую кривую назовем «энергией», обозначив  $s[n]$ .

Интеграл вычисляется с помощью кумулятивных сумм вида

$$s[n] = \sum_{i=0}^{K-1} w[n-i] = s[n-1] + w[n] - w[n-K]. \quad (3.6)$$

В связи с ограниченной длиной от суммы, поток вернется к энергетическому уровню шума после определенного времени бездействия. Таким образом, количество шагов интегрирования (суммирования)  $K$  имеет решающее значение. Малая величина  $K$  даст очень точную оценку энергии, но чувствительную к помехам, в то время как высокие значения  $K$  являются более надежными, но их точность оказывается ниже.

Измеряемый сигнал предварительно фильтруется, возводится в квадрат и сглаживается скользящим окном и фильтром нижних частот для расчета энергии. На рисунке 3.6 показан пример обнаружения легкового автомобиля с прицепом. Количество осей может быть найдено очень легко по 3.6-г, путем анализа производной сигнала, т.е. нахождением количества максимумов сигнала.

Энергетическая оценка затем используется для обнаружения изменений в энергии, т.е. повышение уровня энергии предполагает более высокую сейсмическую активность, предположительно, вызванную транспортным средством. Наиболее простой путь для обнаружения ТС считать отрезки, когда энергия превышает порог амплитудный порог  $G$ . Однако амплитудного порога самого по себе не достаточно, поскольку он также создает определенные проблемы. Если мы изучаем автомобиль с длинной колесной базой (или, наоборот, низкой скоростью), поток энергии может уменьшиться ниже порога после первой оси, а затем превышает порог снова, когда энергия увеличивается за счет второй оси. Чтобы избежать ложных сигналов тревоги в таких случаях вводится временной порог  $T_G$  [39, 41, 62]. Пока  $t_{last}$  – разница во времени между последним превышением порога и текущим временем  $t$  – меньше, чем временной порог  $T_G$ , предполагается, что любое превышение порога обусловлено этим же транспортным средством (см. рисунок 3.6).

Выбор двух параметров (амплитудного порога  $G$  и временного порога  $T_G$ ) имеет решающее значение и напрямую влияет на вероятность ложного обнаружения и ошибок. Низкопороговое решение позволяет обнаруживать транспортные средства, которые имеют только низкий уровень энергии, но повышает вероятность ложного обнаружения в связи с другими сейсмическими возмущениями или транспортными средствами в соседних полосах в то же время [39, 41, 62]. Высокопороговое решение, очевидно, уменьшает вероятность ложного обнаружения ТС, но не позволит обнаруживать некоторые ТС. Пороги рекомендуется выбирать

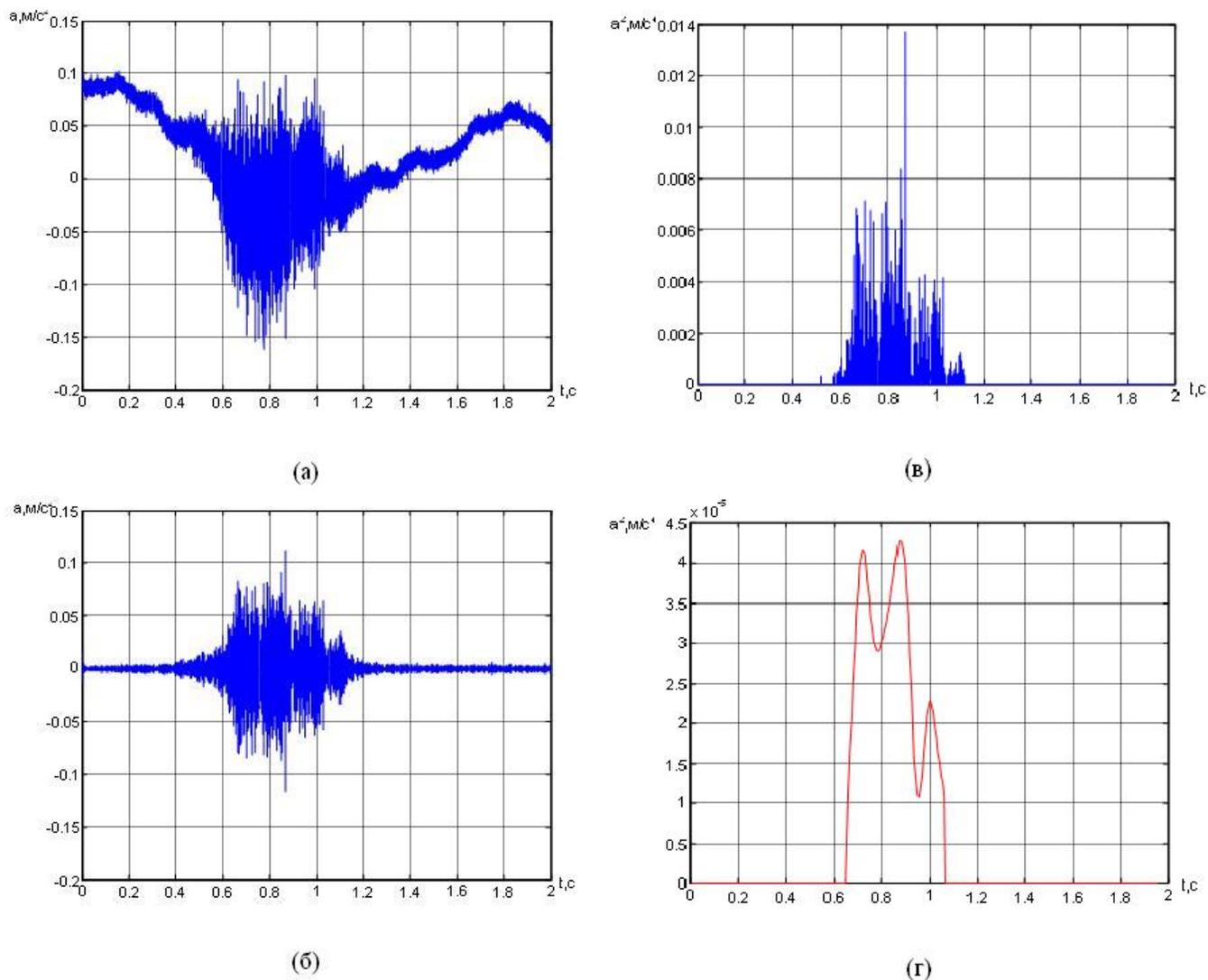


Рисунок 3.6 — Пример обнаружения транспортного средства и определения количества осей (легковой автомобиль с прицепом,  $V = 22$  м/с) (а) Исходный сигнал (б) Сигнал после полосового эллиптического фильтра, (в) После возведения в квадрат, (г) После сглаживания скользящим средним и фильтром нижних частот.

исходя из вероятности ложного обнаружения. Для этого применяется вероятностный подход к обнаружению. Данный подход в частности был использован в работе [62]. Для решения с надежным порогом, рассматриваются шум и амплитуды сигнала от измеренных данных. Поскольку желательно надежное обнаружение и, следовательно, наименьшее соотношение сигнала/шум измеряется. Шум имеет интенсивность и наименьший сигнал имеет амплитуду определенного порядка. Желательно обеспечить вероятность обнаружения 99.95%, то есть вероятность ошибки  $P_M$  должна быть  $P_M \leq 0.0005$ . Результаты показанные выше, используются для расчета порога для системы с  $K = 200$  с частотой дискретизации 4.4 кГц.

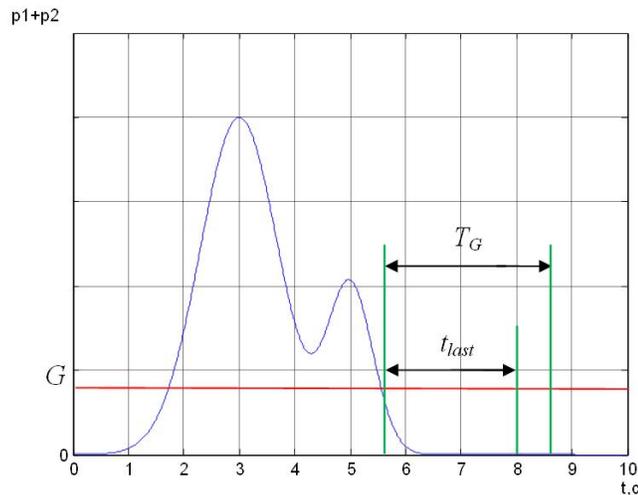


Рисунок 3.7 — Иллюстрация параметров алгоритма обнаружения транспортного средства.

Для достижения вышеупомянутой вероятности обнаружения 99,95%, порог  $G$  может быть получен на основе функции стандартного распределения  $G = 18.9 \cdot 10^{-3}$ . Выбор такого порога  $G$  даст небольшую вероятность ложного обнаружения, и подразумевает, что вероятность ошибки может быть выбрана еще меньше, то есть практически 100% транспортных средств могут быть обнаружены.

Кроме того, можно показать, что порог с равной вероятностью ложной тревоги и ошибки легко рассчитывается на основе вероятностного подхода. Резюме и значения параметров алгоритма обнаружения транспортных средств: Амплитудный порог  $G = 18.9 \cdot 10^{-3}$ . Временной порог  $T_G = 1$  с.

Амплитудный порог должен рассчитываться исходя из желаемой вероятности обнаружения ТС. Желательна вероятность 99.9%. Второй параметр, временной порог, определяет, какая должна быть минимальная разница во времени между двумя транспортными средствами в ряду. Небольшой временной порог дает обнаружение ТС с короткими интервалами следования, но увеличивает вероятность ложного обнаружения в связи с многочисленными обнаружения одного и того же транспортного средства. Большой временной порог, с другой стороны, снижает частоту ложных обнаружений, но увеличивает количество пропущенных (необнаруженных) ТС.

Идеальная длительность временного порога зависит от скорости ТС и расстояния между соседними транспортными средствами. Предположим, средний грузовик с колесной базой 8 м со скоростью 20 м/с. Чтобы пройти мимо датчика займет время 0.4 с для обеих осей. По дороге с более низкой предельной скоростью или во время пробок на дорогах, это займет 1 с

с тем же грузовиком, чтобы проехать мимо датчика со скоростью 8 м/с. Далее предположим, что автомобиль, идущий после грузовика с той же скоростью, применим «трех-секундное правило» [62, 92, 93]. Фиксированная величина временного порога в одну секунду может быть незначительно уместна в обоих случаях, и она даже может быть увеличена до 1.5 с для того, чтобы увеличить надежность.

Пересмотрим расстояние между двумя транспортными средствами, временной интервал в 3 с дает расстояние 60 м в первом сценарии и 24 м во втором. Это довольно большие расстояния безопасности и можно предположить, что они нарушаются довольно часто. Особенно при низкой скорости расстояния всего в нескольких метрах являются обычными и проблема становится очевидной. В то время как временной порог должен быть увеличен, когда скорость уменьшается, расстояние между транспортными средствами также снижается, что с другой стороны требует более короткого временного порога. Очевидно, что увеличивается либо вероятность ложного обнаружения, либо вероятность ошибки.

### 3.3 Результаты экспериментов

Автором данной работы было обнаружено в мае 2011 года в Швеции в окрестностях города Лулео 138 из 140 ТС. Один из 140 автомобилей обнаружен не был и одно ложное обнаружение была выявлено. Следует заметить, что размер выборки  $N = 140$  дает очень низкий уровень доверия и надежный процент ошибок не может быть рассчитан. Более разумный вывод можно сделать, анализируя ошибку в следующих двух случаях.

В первом случае амплитудный порог немного превышал значение энергии сигнала легкового автомобиля. Порог может быть снижен незначительно, но стоит отметить, что в этом случае повышается вероятность ложного обнаружения. Во втором случае, после того, как грузовик с прицепом прошел, еще несколько вибраций были зафиксированы. Причина такого рода ошибок неизвестна, она скорее всего связана с качеством дорожного покрытия и нелинейностью измерений.

Подход к решению этой проблемы заключается в использовании адаптивного временного порога [95], который устанавливается в зависимости от измеряемой энергии и количества осей. Водители, как правило, держатся дальше безопасного расстояния от грузовиков, это может быть правильным подходом. Другая возможность состоит в изменении решения, что автомобиль прошел только после того, как порог был превышен в течение определенного времени, по аналогии с алгоритмом, предложенным в [77, 93].

### 3.4 Выводы по разделу 3

Как было показано выше, оценка основных параметров ТС – обнаружение ТС и количество осей ТС – с помощью измерения вибраций дорожного покрытия возможна. Обнаружение транспортного средства, можно обеспечить с большой надежностью. Представленный алгоритм показал хорошую производительность на экспериментальных данных. Проанализированы особые случаи – а именно, ошибки (ложное определение и промах) и предложены меры по преодолению проблемы.

Второй алгоритм – алгоритм оценки осей, результаты подтверждают, что можно определять параметры ТС с различным числом осей [12].

Кроме того, было показано, что с еще одним параметром, а именно скоростью автомобиля легко вычисляется колесная база ТС. По колесной базе можно делать полноценную идентификацию классов ТС, что является вопросом других исследований.

Основные результаты раздела опубликованы в работе [12].

## **4 Алгоритм идентификации классов транспортных средств с помощью акселерометров**

В данном разделе рассматриваются проблемы идентификации классов ТС с помощью акселерометров. В данном разделе исследуется возможность использования акселерометров для идентификации классов автомобилей. Узлы-датчики, состоящие из одного акселерометра и магнитометра, устанавливаются на дорожную разметку. Датчики обмениваются информацией по беспроводной сети между собой и серверами, расположенными вдоль дороги. Установка датчиков на дорожную разметку позволит повысить время их эксплуатации благодаря меньшему количеству наездов ТС, а также позволит обеспечить бесконтактность измерений. Акселерометры измеряют вибрации дороги, за счет чего отсутствует непосредственный контакт датчиков с автомобилями. Магнитометры измеряют магнитные поля, создаваемые автомобилями. Планируется использовать их в будущем для измерения скорости автомобилей. Сейчас скорость считается известной.

Ниже предлагается алгоритм определения классов автомобилей, основанный на измерениях с акселерометров. Последовательность действий включает в себя фильтрацию полосовым фильтром, возведение в квадрат, сглаживание скользящим окном и фильтром нижних частот, а также удаление помех путем сравнения с порогом. Приведены результаты обработки данных с помощью алгоритма, демонстрирующие его эффективность.

### **4.1 Введение. Классы ТС**

Идентификация классов ТС является важным компонентом безопасности дорожного движения. Поэтому разработка системы и алгоритма, который с большой производительностью и надежностью мог бы работать в различных погодных условиях, в любое время суток является актуальной. Также необходимо по возможности обеспечить бесконтактность измерений, что позволит продлить срок эксплуатации системы, уменьшить количество переустановок оборудования и вмешательства людей в дорожное движение, приводящее к нарушению движения во время установки.

### **4.2 Реализация алгоритма и результаты экспериментальных исследований**

Процедура обработки данных с акселерометров показана на рисунке 4.1. На первых шагах выполняется предварительная обработка, обнаружение автомобилей. Затем следует обработка данных для классификации автомобилей. Предварительная обработка данных осу-

ществляется согласно следующим шагам [9]:

1. Первоначальные данные, полученные с акселерометров, фильтруются полосовым фильтром, потому что рассматриваем частотный диапазон, соответствующий области максимальных амплитуд сигнала. Предварительная обработка сигналов с помощью быстрого преобразования Фурье и короткооконного преобразования Фурье выявила частотный диапазон от 850 до 1750 Гц. Такая обработка необходима для исключения низкочастотных и высокочастотных помех. Используется эллиптический фильтр, потому что он обеспечивает максимальное затухание сигнала в полосе задерживания [96]. Частоты среза ПФ выбираются на основе предварительной обработки данных и анализе спектральных характеристик.

Данные, полученные на выходе полосового фильтра, возводятся в квадрат:  $z(iT) = y(iT)^2$ , где  $i = 0, 1, \dots$  – дискретное время;  $T$  – интервал квантования (частота дискретизации датчика).

2. Сигнал сравнивается с порогом, все значения, которые меньше порога, обнуляются:

$$\text{threshold} = 0.02 \cdot \max(z);$$

$$z(iT)^* = \begin{cases} z(iT), & \text{если } z(iT) \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

3. Сглаживание с помощью скользящего окна с временем сглаживания  $t$ .
4. Сигнал  $z(i)$  фильтруется эллиптическим фильтром нижних частот (ФНЧ), частота среза выбирается в зависимости от скорости ТС:  $w = f(V)$  [Гц], где  $V$  – скорость ТС, км/ч.
5. Значения сигнала сравниваются с порогом, если они меньше порога, то обнуляются:

$$\text{summa}(i)^* = \begin{cases} \text{summa}(i), & \text{если } \text{summa}(i) \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

$$\text{threshold} = \begin{cases} 0.33 \max_i(\text{summa}), & \text{если } yf \geq 5 \cdot 10^{-5} \\ 0.22 \max_i(\text{summa}), & \text{иначе.} \end{cases}$$

где  $i = 1, 2, \dots, k$ ;  $yf$  – сигнал на выходе ФНЧ. Числа 0.33, 0.22 получены расчетным путем, на основании вероятностного подхода, который кратко описан в разделе 5. Коэффициенты также проверены экспериментальным путем.

6. Алгоритм поиска максимумов кривой  $y_i$ . Он анализирует производную  $y_i$  для поиска максимумов.
7. Для удаления «плохих» пиков (максимумов) используется порог. Мы не анализируем колесную базу меньше 70 см (0.70 м), так как не существует ТС с такой колесной базой. Колесная база может быть найдена оператором  $(time2(i + 1) - time2(i)) \cdot V$ .
8. Амплитудный и временной порог используются для удаления пиков с малой амплитудой и маленькой шириной импульса (временной порог). Порог амплитуды составляет 8 % от максимального значения амплитуды пика. Данный порог рассчитан исходя из необходимой вероятности обнаружения ТС. Коэффициент также проверен экспериментальным путем. Временной порог пересчитывается в расстояние, аналогично расчету колесной базы. Ширина импульса умножается на скорость. Не анализируются импульсы шириной меньше 70 см.
9. Алгоритм определения колесной базы ( $A, B, C, D, E$ ). Этот алгоритм реализован в соответствии с рисунком В.1.
10. Алгоритм классификации ТС представлен на рисунках 4.1, 4.2.

Графики сигналов [9] в важнейших точках алгоритма для идентификации ТС представлены на рисунке 4.3.

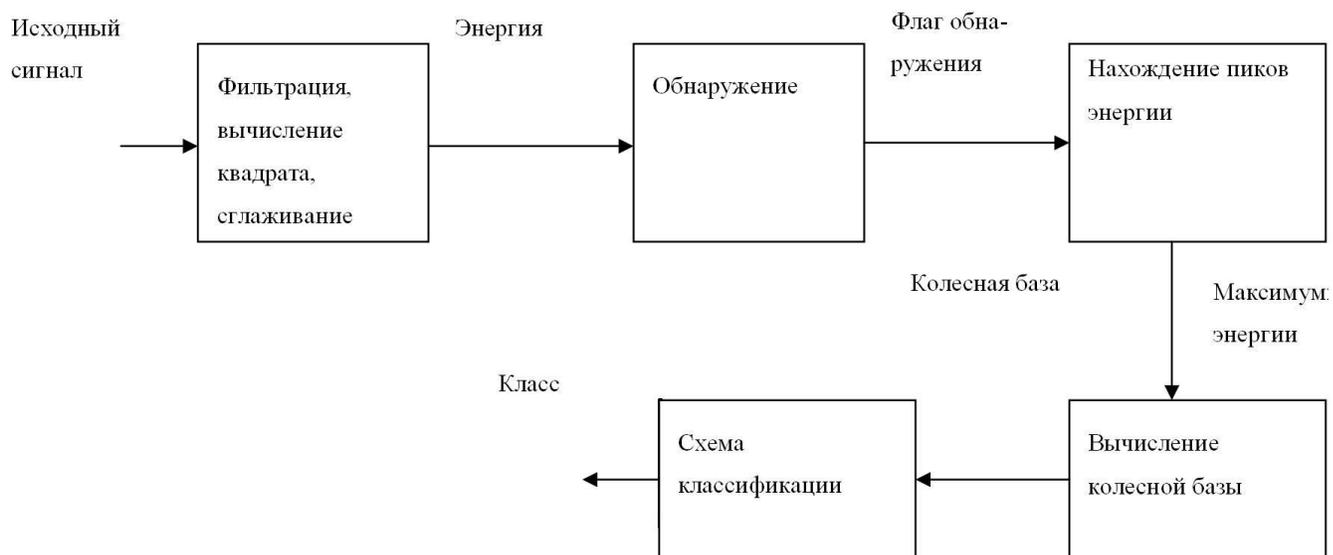


Рисунок 4.1 — Структура алгоритма идентификации ТС с использованием акселерометров.

Алгоритм протестирован с помощью серии экспериментов, проведенных на шоссе в окрестности города Лулео (Швеция). В результате спектрального и временного анализа данных и ряда экспериментов были найдены следующие параметры:

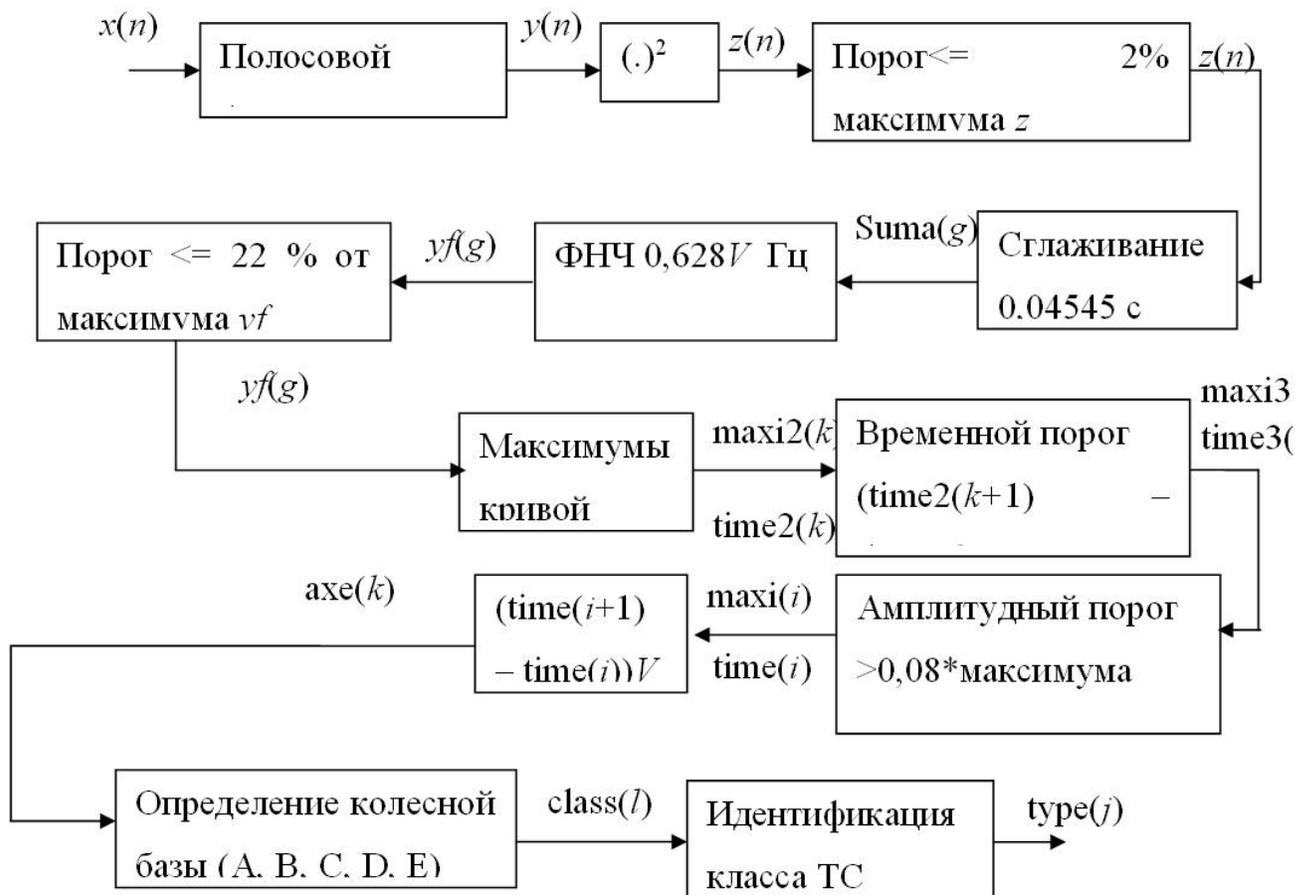


Рисунок 4.2 — Последовательность действий для идентификации классов ТС с использованием акселерометров.

- нижняя частота среза  $f_n = 850$  Гц (подтверждается анализом как спектральных характеристик в разделе 5, так и экспериментально);
- верхняя частота среза  $f_b = 1750$  Гц (подтверждается анализом как спектральных характеристик в разделе 5, так и экспериментально);
- частота среза для ФНЧ  $w = 0.628$  Гц;
- для скользящего окна  $t = 0.045$  с. Значение 0.045 получено для акселерометров с частотой дискретизации 22 кГц (подтверждается тем, что максимум амплитуды сигнала расположен в области до 4.4 кГц, видно на спектральных харарктеристиках в разделе 5. Для сглаживания берутся каждые 200 точек, то есть  $200/4400 = 0.045$  с)

Заметим, что близкий подход используется и в недавно опубликованной работе [41] где оценка скорости производится путем деления среднестатистического магнитного пути на время проезда транспортного средства мимо датчика. Очевидно, что такой способ не учитывает

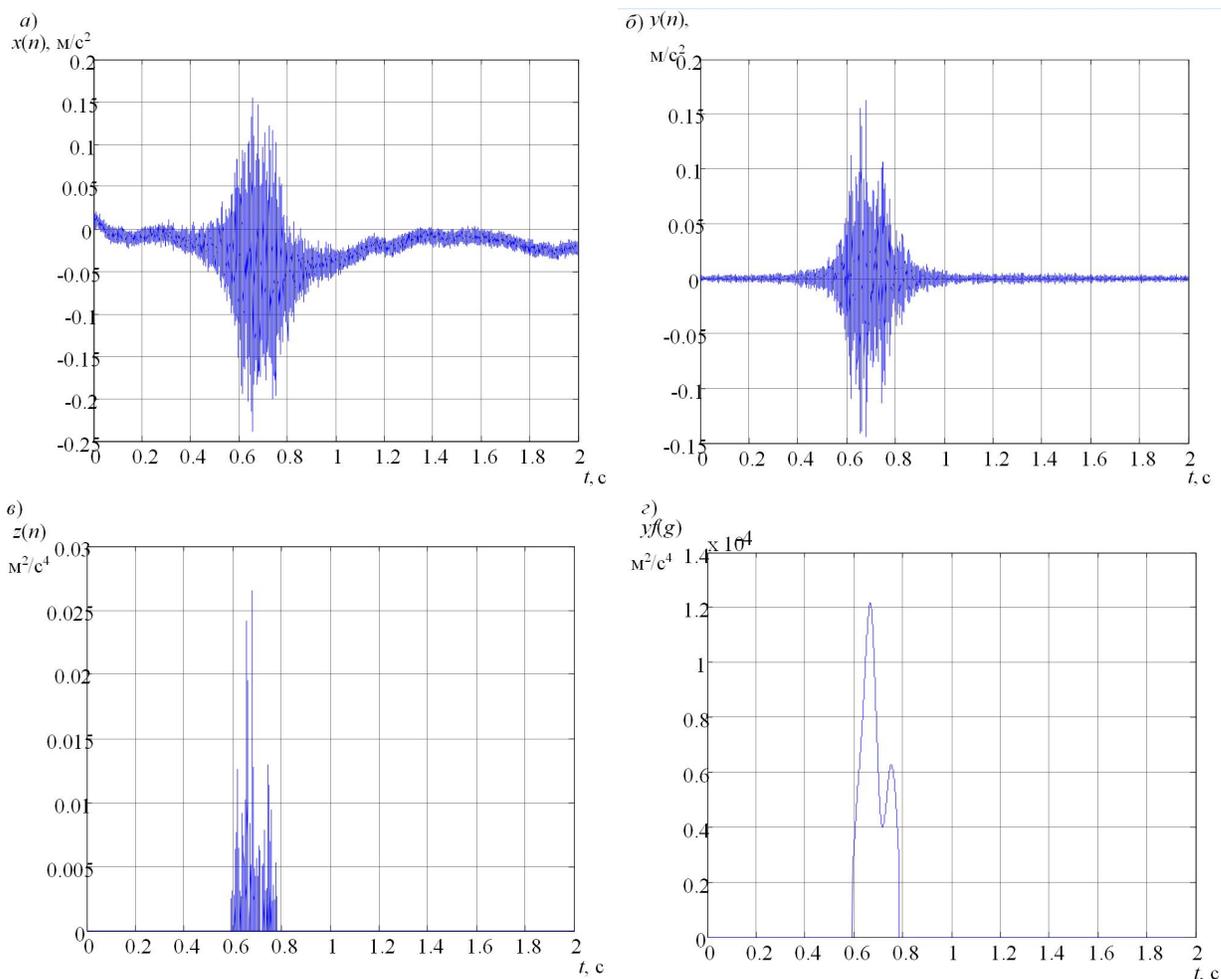


Рисунок 4.3 — Графики сигналов в важных точках последовательности действий: а –  $x(n)$  (исходный сигнал с акселерометра); б –  $y(n)$  (сигнал после полосового фильтра); в –  $z(n)$  (сигнал после возведения в квадрат и сравнения с порогом); г –  $yf(g)$  (после сглаживания скользящим окном и ФНЧ и после удаления помех).

индивидуальных параметров автомобиля и обладает существенной погрешностью. Таким образом, чтобы избежать проблемы синхронизации датчиков, в данной диссертационной работе ставится задача оценки скорости с использованием одного сенсорного узла, состоящего из магнитометра.

### 4.3 Неправильная классификация

Теперь необходимо сказать несколько слов о неправильной классификации транспортных средств.

На рисунке 4.4 представлены БПФ данных *Scania 144g* с прицепом. Диапазон частот с большими амплитудами шире, чем обычно. Кроме того, другие компоненты сигнала имеют

достаточно большую амплитуду. Мы используем ПФ с частотами среза 550 и 1750 Гц для обработки данных из «*Arctic Falls*».

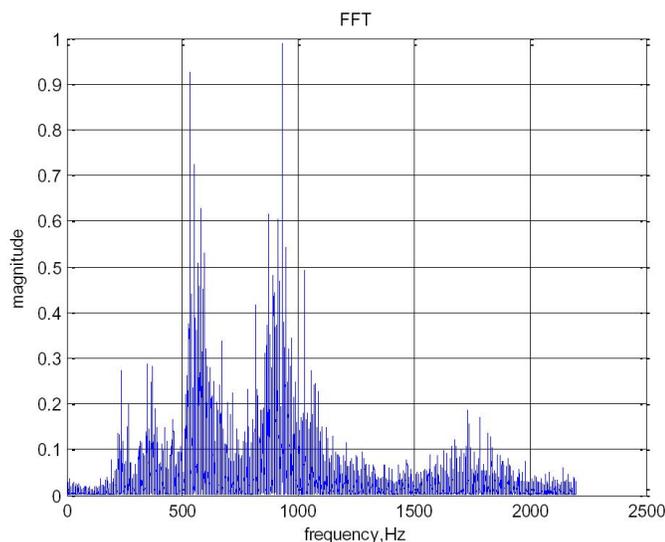


Рисунок 4.4 — БПФ (грузовик с прицепом 60 км / ч).

Рисунок 4.5 показывает результаты анализа данных *Scania 144g* с прицепом. Алгоритмом найдена сумма осей, равная 14.9 м и классифицировано транспортное средство, как грузовик с прицепом. Реальная сумма осей 16.1 м. Но оси на рисунке 4.5 слишком не соответствуют реальной.

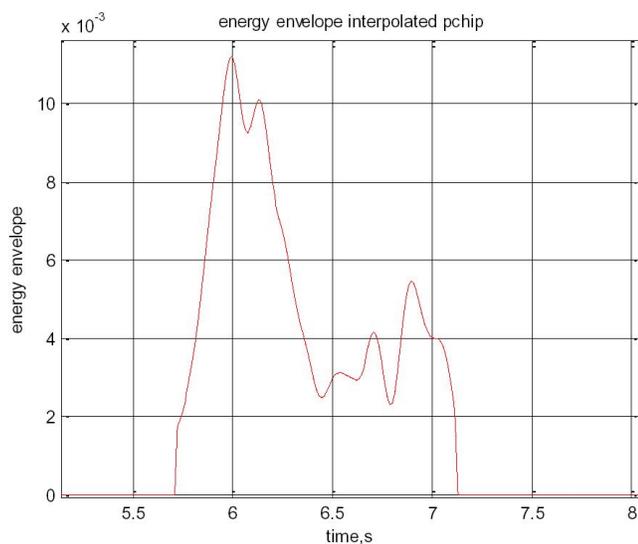


Рисунок 4.5 — Интерполяция энергии (грузовик с прицепом 60 км / ч).

БПФ данных *Saab 93* с прицепом представлены на рисунке 4.5. Диапазон частот с большими амплитудами шире, чем обычно. Кроме того, другие компоненты сигнала имеют

достаточно большие амплитуды.

Результаты анализа *Saab 93* с прицепом представлены на рисунке 4.7. Алгоритмом найдена сумма осей 9.0 м и классифицировано транспортное средство, как грузовик с прицепом. Реальная сумма расстояний между осями составляет 5.2 м. Оси, которые мы можем увидеть на рисунке 4.7 также не соответствуют реальным.

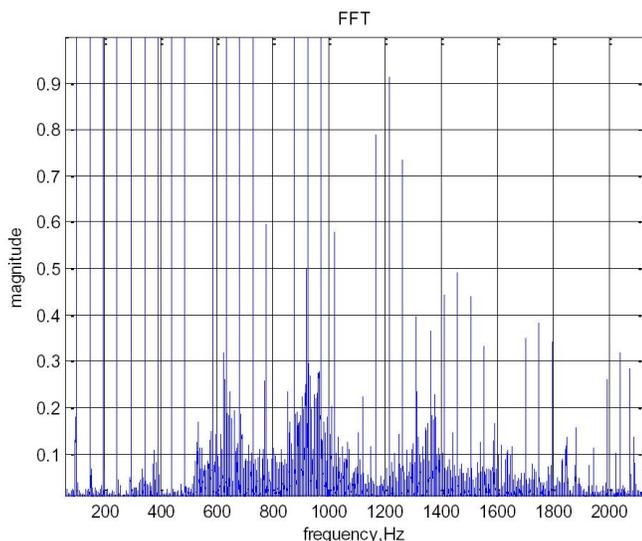


Рисунок 4.6 — БПФ (легковой автомобиль с прицепом, 70 км/ч).

Эти данные имеют много шума, поскольку датчик с малой точностью и у нас были некоторые проблемы с датчиком во время измерений. Его частота дискретизации 4400 Гц.

Причины неправильной классификации:

- 1) Низкое качество дорожного покрытия дает много шумов
- 2) Маленькая частота дискретизации датчика, которая дает некоторые ошибки измерений.
- 3) Случайные причины также имеют место.

Исходя из этого, если в тестовом режиме оказывается большой процент ошибочной классификации, то рекомендуется при настройке выбрать датчик с большей частотой дискретизации, выбрать участки дороги с более качественным покрытием, произвести повторные измерения для случая случайных помех.

#### 4.4 Выводы по разделу 4

Были рассмотрены алгоритмы идентификации классов ТС с использованием акселерометров. Классы автомобилей идентифицируются достаточно точно, но для этого необходимо знать скорость ТС [9]. Эти результаты могут быть использованы в реальных системах дорожного

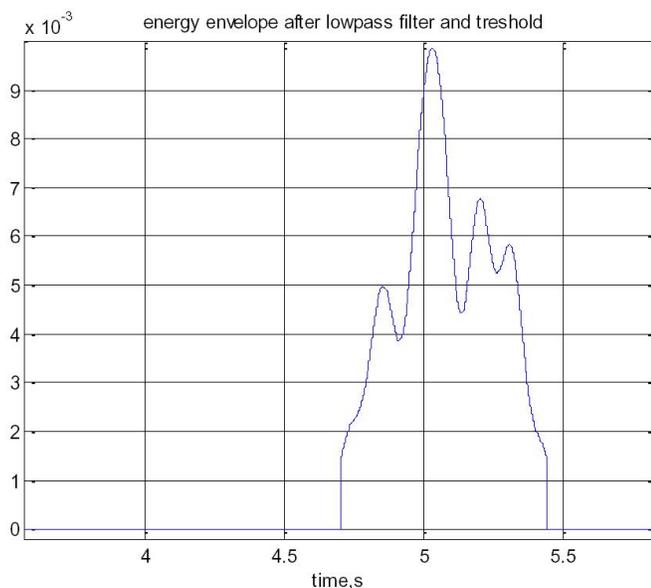


Рисунок 4.7 — Интерполяция энергии (грузовик с прицепом 70 км/ч).

хозяйства для построения интеллектуальных систем дорожного движения, идентификации классов ТС, для подсчета количества ТС, для мониторинга скорости ТС. В последнем случае необходимо использовать два датчика, что является предметом последующих исследований.

Основные результаты раздела опубликованы в [9].

## 5 Выбор параметров алгоритмов обнаружения и идентификации методами временного и спектрального анализа

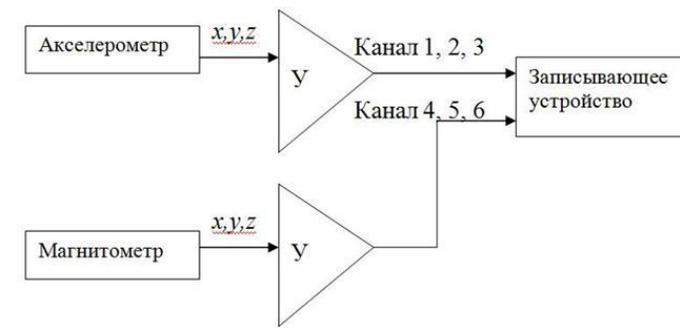
В данном разделе рассматриваются проблемы частотного и временного анализа вибраций дорожного покрытия, вызванных проезжающими транспортными средствами. Во временной области проанализированы форма сигнала, продолжительность и его уровень. Сигнал представлен в виде временных рядов, которые дают некоторую первичную информацию [62, 66, 97], такую, к примеру, как повышенная сейсмическая активность.

### 5.1 Временной анализ

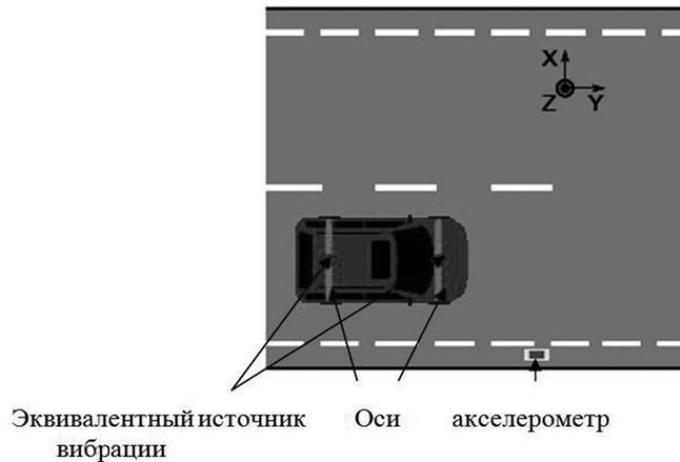
Рассмотрим компоненты вибрации по трем осям  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  для легкового автомобиля (рисунок 5.1). Ось  $OY$  направлена вдоль полотна в направлении движения, ось  $OX$  направлена вдоль полотна перпендикулярно движению, и ось  $OZ$  перпендикулярно полотну дороги. Сейсмические волны, вызванные любой формой возбуждения, распространяются как объемные ( $P$ - и  $S$ -волны) и поверхностные (волны Лява и Рэлея). В зависимости от способа распространения волны имеют различную степень затухания. Поверхностные волны испытывают ослабление  $1/\sqrt{r}$  в однородной среде, где  $r$  – расстояние от источника волны до рассматриваемой точки. Объемные волны ослабляются пропорционально в однородной среде [62].  $P$ -волны и волны Лява являются основной причиной горизонтальных вибраций в  $X$ - и  $Y$ - направлениях. Волны Рэлея являются главной причиной вертикальных вибраций в  $Z$ -направлении. Кроме того, в [62, 66, 97] показано, что колебания, в близких к поверхности слоях несут около  $2/3$  энергии в поверхностной волне и только  $1/3$  распространяется в виде объемных волн.

### 5.2 Спектральный анализ

Спектральный (частотный) анализ данных подразумевает под собой анализ частотных характеристик сигнала, распределение амплитуд гармоник сигналов согласно частотам. В настоящее время для анализа сигналов широко используется вычисление мгновенного энергетического спектра, который позволяет получить представление о распределении энергии отрезка сигнала по частотным интервалам, что является важным, например, в задачах распознавания образов. Существующие методы вычисления частотных характеристик сигналов основываются на использовании традиционных методов дискретного преобразования [98]. В результате анализируются амплитуды и частоты гармоник сигнала при разложении его с помощью быстрого преобразования Фурье и короткооконного преобразования Фурье. После чего на основании



а)



б)

Рисунок 5.1 — Схема регистрации: а) функциональная схема измерительного блока, б) схема расположения датчика и система координат.



Рисунок 5.2 — Сенсорный узел измерительной установки.

анализа выбираются частоты среза для полосового фильтра. Для задач обнаружения ТС рассматриваются измерения с акселерометров. Берутся для анализа сигналы трех осей  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  акселерометра. Затем строятся спектральные характеристики сигнала с помощью про-

граммного пакета МАТЛАВ [99].

Частотные характеристики сигналов, полученных от разных видов транспорта, имеют схожие компоненты. В общем случае можно выделить две характерные полосы частот: до 1750 Гц и полосу от 2 кГц до 3 кГц. Отчетливо видно, что наиболее информативной является полоса частот от 850 Гц до 1750 Гц. Однако сигнал вибрации, вызванной проездом грузовика, содержит высокоэнергетические компоненты на более высоких частотах, от 3.5 кГц до 4 кГц. Это свойство сигнала может быть использовано для идентификации ТС [10].

Вместе с тем, анализ спектральных характеристик на рисунках 5.4–5.6 показывает, что максимум энергии сигнала приходится на частотный диапазон 850 ÷ 1750 Гц. Он, однако, содержит значительное число как высокочастотных, так и низкочастотных помех, вызванных присутствием на дороге посторонних источников шумов, к примеру, связанных с проведением ремонтных работ. Дальнейшая обработка сигнала целесообразна после отфильтровывания сигналов помех полосовым фильтром. В этой работе нами был предложен эллиптический фильтр, обеспечивающий максимальное затухание в полосе задерживания по сравнению с другими фильтрами [96].

### 5.3 Результаты исследования

#### 5.3.1 Условия эксперимента

Исходные экспериментальные данные получены автором в университете города Лулеа (Швеция) *Lulea technical university* в рамках проекта *iRoad* [51] совместно с координатором проекта В. Бирком (*W. Birk*), Р. Хостеллером (*R. Hostettler*) и В. Бардовым.

Эксперименты проводились на шоссе вблизи г. Лулеа, имеющем четыре полосы движения (по две в каждом направлении), движение регулярное. Разрешенная максимальная скорость 110 км/ч. Условия эксперимента: зимний день, температура воздуха  $-5^{\circ}$  С. На дороге не было гололеда.

Сенсорный узел был установлен на дорожной разметке и состоял из акселерометра (частота дискретизации 22 кГц) и магнитометра (частота дискретизации 200 Гц). Данные передавались на компьютер с помощью USB-кабеля, записывались с помощью специальной программы и обрабатывались в пакете МАТЛАВ.

Следует отметить, что система предполагает производство измерений дистанционно с использованием модуля *Wi-Fi*, что делает их достаточно мобильными и привлекательными для потенциальных пользователей. На рисунке 5.1 показана функциональная схема измерительной

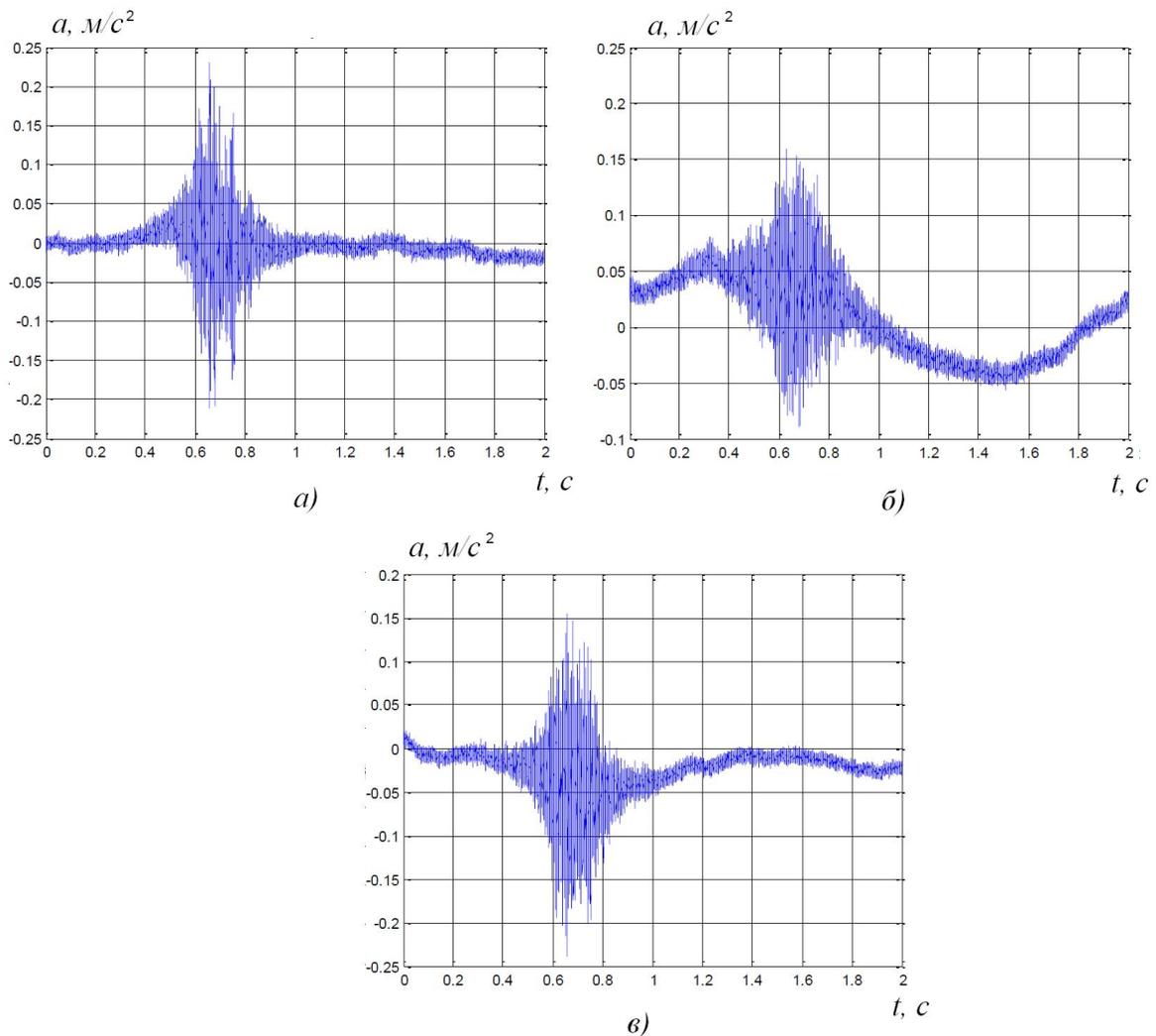


Рисунок 5.3 — Вибрации дороги в трех перпендикулярных направлениях (а –  $OX$ , б –  $OY$ , в –  $OZ$ ). Легковой автомобиль, скорость  $V = 22$  м /с.

установки (а) и схема расположения сенсорного узла (б), а на рисунке 5.2 – фотография сенсорного узла. В эксперименте сенсорный узел крепился к дорожной разметке с помощью клейкого материала. При успешной реализации проекта предусмотрена установка этого узла в специальных отверстия в местах дорожной разметки.

### 5.3.2 Результаты временного анализа

Такая же закономерность сохраняется и для других типов ТС. В частности, автором получены подобные сигналы и для грузового транспорта. По этой причине дальнейший спектральный анализ был ограничен осью  $OZ$ .

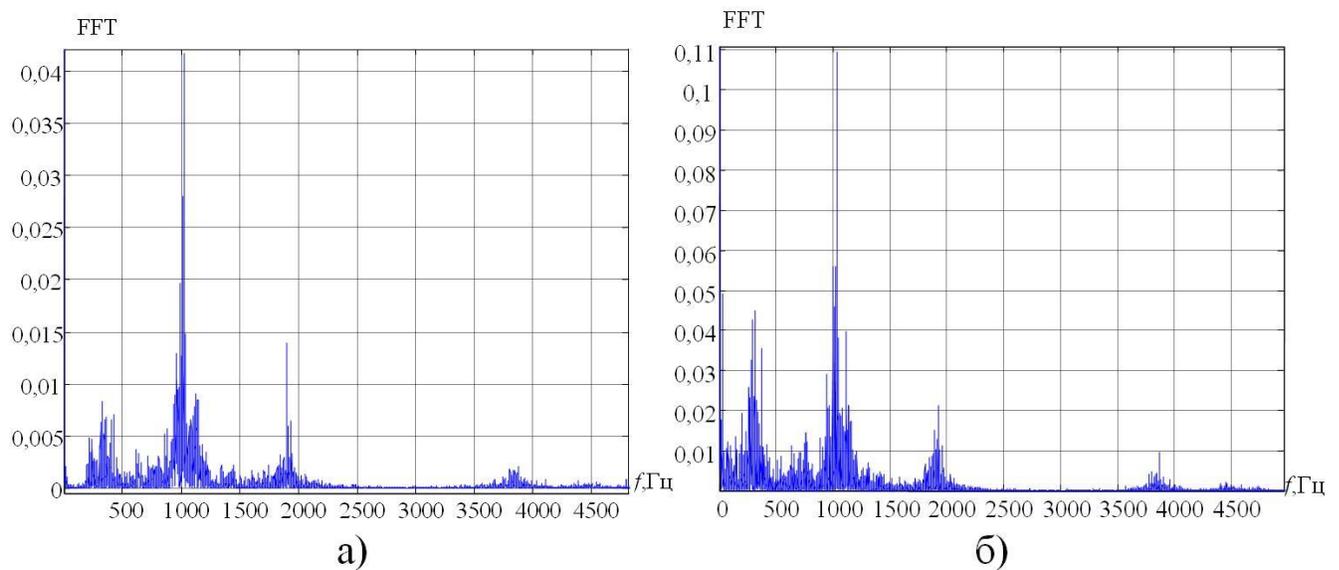


Рисунок 5.4 — Результат применения быстрого преобразование Фурье для сигнала от легкового автомобиля (а),  $V = 22$  м/с и грузовика с прицепом (б),  $V = 25$  м/с.

### 5.3.3 Результаты спектрального анализа

При частотном анализе применены быстрое преобразование Фурье и короткоконное преобразование Фурье.

На рисунке 5.4-а представлен результат применения быстрого преобразования Фурье сигнала, полученного от легкового автомобиля, движущегося со скоростью 22 м/с; на рисунке 5.4-б – сигнала от грузовика с прицепом, движущегося со скоростью 25 м/с.

На рисунке 5.5 показаны результаты короткоконного преобразования Фурье для тех же сигналов. Затемненные области на рисунке 5.5 соответствуют наибольшим амплитудам сигнала (более высокоэнергетическим компонентам).

На рисунке 5.6 для наглядности показаны в трехмерном виде совмещенные изображения двух видов преобразования.

### 5.3.4 Фильтрация с применением эллиптического полосового фильтра

Как отмечено выше, предварительная обработка сигнала с помощью полосового фильтра позволяет снизить уровень шума и помех для более качественной обработки сигнала. Исходя из полученных ранее результатов спектрального анализа, предложены следующие параметры полосового фильтра [10]:

- нижняя частота среза:  $f_l = 850$  Гц;

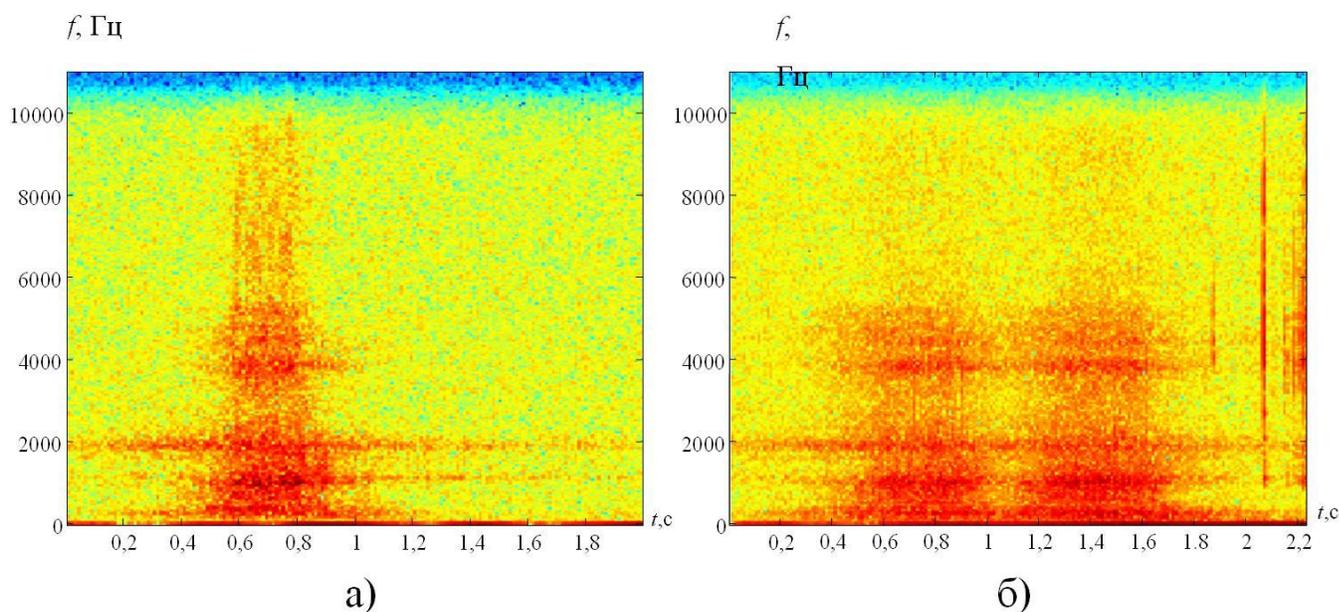


Рисунок 5.5 — Результат применения короткооконного преобразование Фурье для сигнала от легкового автомобиля (а),  $V = 22$  м/с и грузовика с прицепом (б),  $V = 25$  м/с.

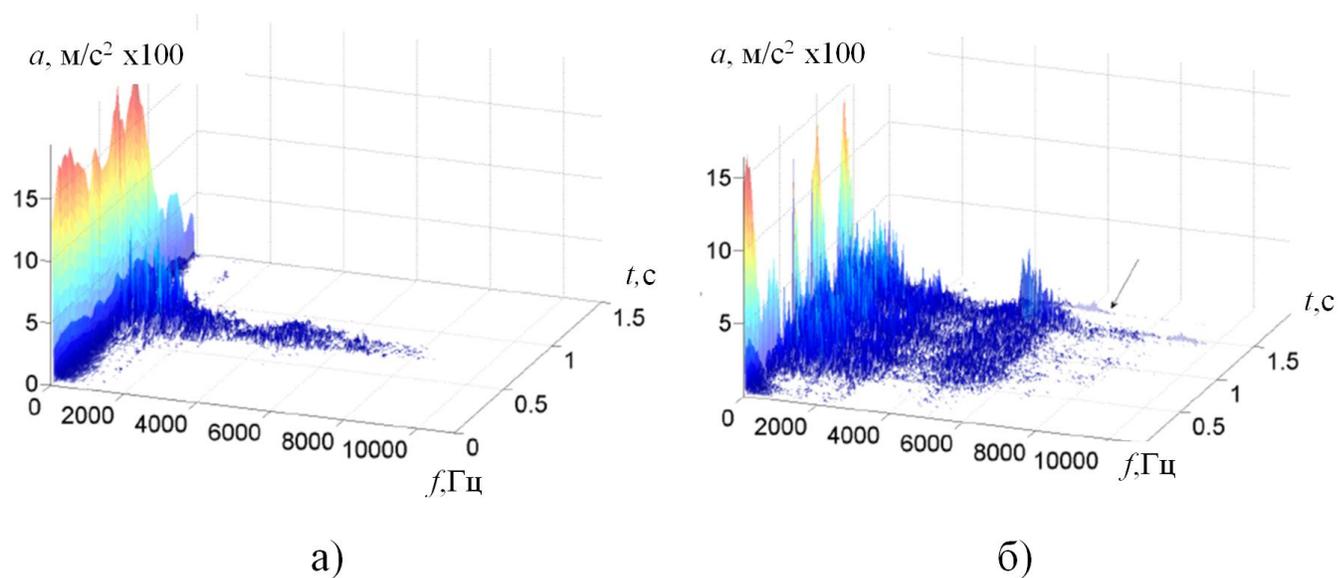


Рисунок 5.6 — Результат совмещения короткооконного и быстрооконного преобразование Фурье. (а) – легковой автомобиль,  $V = 22$  м/с; (б) – грузовик с прицепом (б),  $V = 25$  м/с.

- верхняя частота среза:  $f_u = 1750$  Гц;
- максимальная пульсация полосы пропускания:  $R_p = 1$  дБ;
- минимальное ослабление в полосе задерживания:  $R_s = 50$  дБ.

Расчетные логарифмическая амплитудно-частотная (ЛАЧХ) и фазо-частотная (ЛФЧХ) характеристики такого фильтра показаны на рисунке 5.7.

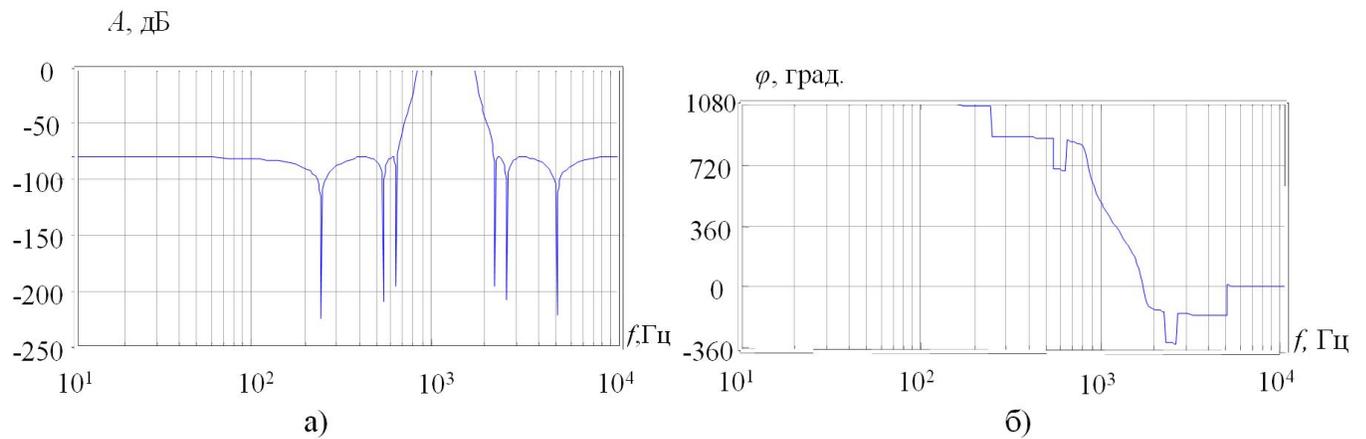


Рисунок 5.7 — ЛАЧХ (а) и ЛФЧХ (б) полосового фильтра.

Результат преобразования исходного сигнала (рисунок 5.6) после фильтрации показан на рисунке 5.8.

Последующая обработка сигнала от движущих ТС включает в себя исключение отрицательных значений путем возведения в квадрат, сглаживание с помощью скользящего окна или фильтра нижних частот и нахождение амплитудного порога для обнаружения транспортного средства и временного порога, позволяющего разделять транспортные средства, движущиеся в сравнительной близости.

Последовательность обработки сигнала, полученного от движущегося легкового автомобиля (рисунок 5.3-в) и его форма на различных этапах обработки представлены на рисунке 5.8.

Отметим, что данный метод позволяет определить скорость ТС с использованием двух акселерометров.

#### 5.4 Рекомендации по применению

Полученные результаты могут быть применены в реальных устройствах организации дорожного движения для построения интеллектуальных систем с целью обнаружения ТС, идентификации их классов, подсчета количества ТС и мониторинга их скорости.

Концепция разрабатываемой системы состоит в следующем. Система состоит из сети сенсорных узлов, установленных на дорожной разметке на расстоянии 50 м друг от друга. Датчики крепятся к дорожному покрытию в районе дорожной разметки с помощью специального клея или монтируются в дорожное покрытие. Возможно их питание от солнечных батарей. Они обмениваются информацией между собой и серверами за пределами дороги.

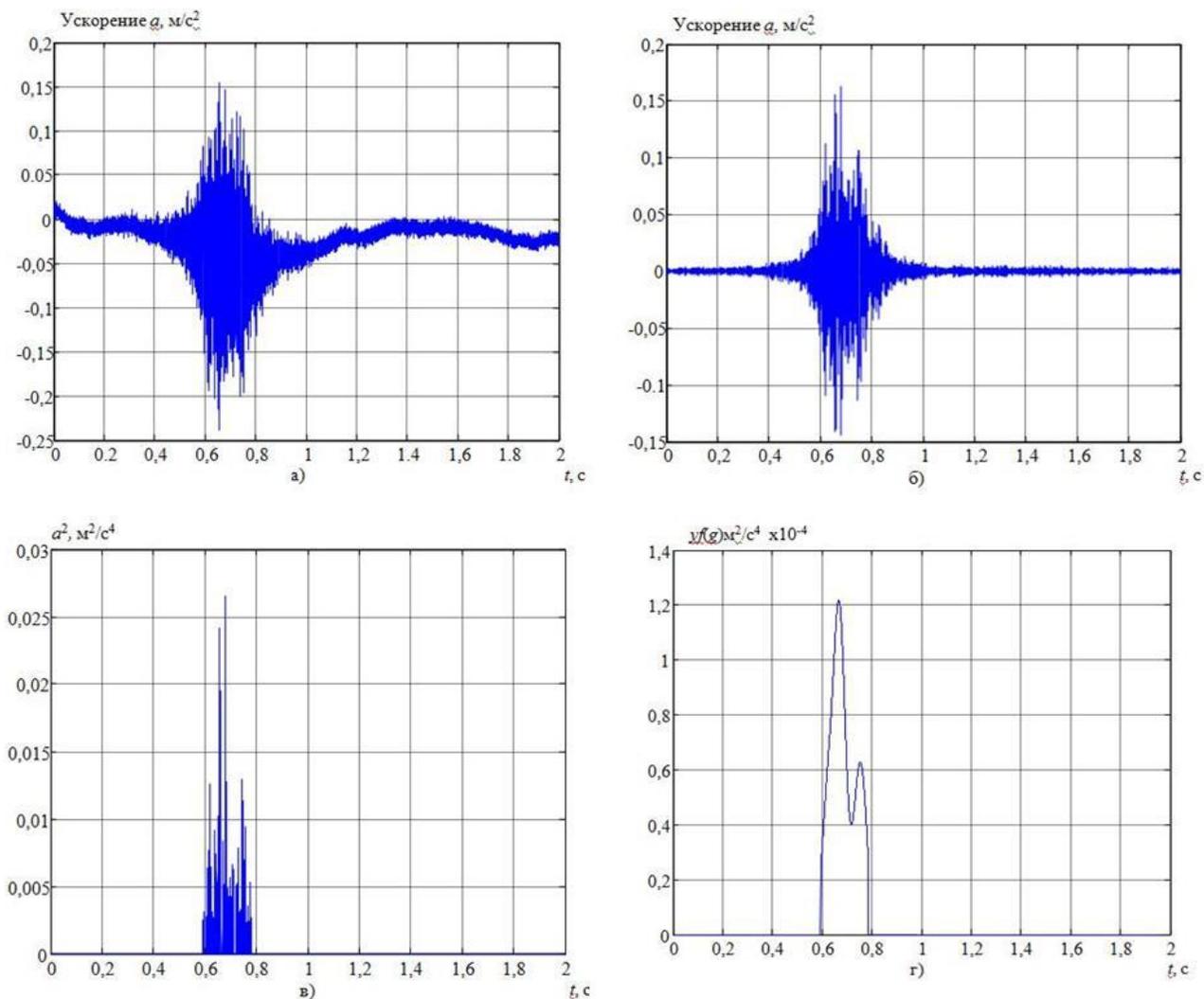


Рисунок 5.8 — Вид сигнала на разных этапах обработки. а) -- исходный сигнал с акселерометра, б) -- сигнал после полосового фильтра (рис. 5.7), в) -- сигнал после возведения в квадрат и сравнения с пороговым значением, г) -- сигнал  $yf(g)$  после сглаживания скользящим окном, фильтром низких частот и удаления помех.

Датчик может менять цвет или подавать иные световые сигналы (к примеру, мигать) за несколько сотен метров до начала полосы гололеда или какой-то другой критической ситуации. Датчики могут передавать сигнал близстоящему дорожному знаку, который также подает предупреждающие сигналы о необходимости уменьшить скорость, сменить полосу движения и т.д. То есть сенсоры передают всю полезную информацию транспортной инфраструктуре, которая затем использует ее для обеспечения безопасности и повышения качества дорожного движения. В данный момент развернута для тестирования сеть из 400 датчиков, которые выполняют выше указанные функции. Таким образом, реализуется концепция «умных дорог».

### **5.5 Выводы по разделу 5**

Рассмотрены проблемы частотного и временного анализа вибраций дорожного покрытия, которые вызваны проезжающими транспортными средствами [10]. Вибрации измеряются акселерометрами, устанавливаемыми на дорожную разметку. Реализуется предварительная обработка данных перед дальнейшим использованием их для анализа параметров движения транспортного потока. Приведены результаты обработки данных с помощью спектрального анализа и фильтрации.

Основные результаты раздела опубликованы в работе [10].

## Заключение

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

- Разработан и экспериментально исследован алгоритм обнаружения ТС с использованием одного акселерометра, устанавливаемого на дорожную разметку для измерения вибраций дороги, вызванных ТС.
- Разработан и экспериментально исследован алгоритм оценки скорости ТС с использованием одного магнитометра на основе измерения угла между осью датчика, перпендикулярной дороге, и автомобилем.
- Предложен метод оценки скорости движения транспортного средства на основе измерения магнитного пути.
- Разработан и экспериментально исследован алгоритм определения классов ТС с помощью сенсорного узла, представляющего собой комбинацию магнитометра и акселерометра.
- Разработан новый метод идентификации классов ТС по колесной базе с помощью одного сенсорного узла с такой комбинацией датчиков.
- Разработана методика выбора параметров алгоритмов обнаружения и идентификации методами временного и спектрального анализа.

В результате проведенных исследований было выявлено, что определение классов ТС с использованием измерений акселерометров и магнитометров имеет большую точность. Погрешность измерений составила 11%. Обнаружение ТС с использованием одного акселерометра имеет погрешность 1%. Определение скорости с помощью одного магнитометра возможно с погрешностью не более 8.6%.

Эти результаты могут быть использованы в реальной жизни в интеллектуальных системах дорожного движения при определении классов ТС по осям и по колесной базе, чтобы подсчитать количество осей ТС, чтобы подсчитать количество движущихся ТС, для мониторинга скорости ТС.

Важные выводы можно сделать для будущей работы. Прежде всего, есть еще много возможностей о том, как использовать вибрации дороги. Более эффективные методики могут повысить производительность предлагаемых алгоритмов, но и другие, еще неиспользованные подходы, такие как отслеживание подпространства могут быть полезными и выявить возможности для определения других параметров скрытых в измерениях. Ясно, что дальнейшие исследования о влиянии между источником вибрации и точки измерения должны быть сде-

ланы. Лучшего понимания волновых процессов поможет понять сигналы лучше. Вибрации, вызванные другими источниками, такими как мотоциклы и пешеходы должны быть проанализированы и их влияние должно быть оценено.

Наконец, мы не должны забывать, что применение конечной цели представляют собой миниатюрные и недорогие встраиваемые системы с ограниченными возможностями обработки и датчиками с гораздо меньшей производительностью, чем были использованы. Это приводит к некоторым ограничениям в плане возможностей и производительности и должно быть принято во внимание. Как показали исследования ученых при мониторинге трафика реализации и развертывания крупномасштабных инфраструктур с датчиками требует тщательного планирования и большого периода времени.

**Список литературы**

- 1 Козлов Л. Н. О стратегии формирования интеллектуальных транспортных систем в России // Транспорт Российской Федерации.– 2011, Т. 33, № 2. С. 4–6.
- 2 Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года. Министерство транспорта Российской Федерации. Федеральное дорожное агентство. Распоряжение от 11 июня 2014 года № 1032-р. <http://rosavtodor.ru/documents/transport-strategy-2030/>.
- 3 Fcp-pbdd [Электронный ресурс]: Федеральная целевая программа – Режим доступа: [http://www.fcp-pbdd.ru/special\\_equipment/transport\\_systems](http://www.fcp-pbdd.ru/special_equipment/transport_systems) свободный. Яз. англ. (дата обращения 28.01.2014).
- 4 Мишарин А. С., Евсеев О. В. Актуализация транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года // Транспорт Российской Федерации.– 2013. № 2 (45). С. 4–13.
- 5 Мишарин А. С. Транспорт больших городов: повысить комфорт и безопасность. Транспорт Российской Федерации.– 2011. № 6. С. 7–9.
- 6 Архитектура и методология транспортных систем / О. В. Белый, О. Г. Кокаев, С. А. Попов; Федеральная целевая программа «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки», Российская академия наук. Институт проблем транспорта. – СПб. : Элмор. – 2002. – 249 с.
- 7 Информационные системы технических средств транспорта [Текст] : учеб. пособие для вузов / О. В. Белый; А. Е. Сазонов; Под ред. Ю. А. Лукомского ; Федеральная целевая программа «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997-2000 годы», Российская Академия наук. Институт проблем транспорта. – СПб. : Элмор. – 2001. – 186 с.
- 8 Hostettler R., Birk W., Obertov D., Bardov V. Vehicle speed determination, <http://www.google.com/patents/EP2677323A1?cl=en>, 2013, December 25, Google Patents, EP Patent App. EP20,120,172,521. свободный. Яз. англ. (дата обращения 28.01.2014).
- 9 Обертов Д. Е., Бардов В. М. Алгоритм идентификации классов транспортных средств с помощью акселерометров // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 5 (60).– С. 15–18.

- 10 Обертов Д. Е. Спектральный анализ данных с акселерометров для задач обнаружения и идентификации транспортных средств // Научно-технический вестник ИТМО. – 2012. – № 5 (8). – С. 44–50.
- 11 Обертов Д. Е., Бардов В. М. Оценивание скорости транспортных средств с использованием магнитометра // Информационно-управляющие системы. – 2013. – № 4 (65). – С. 21–26.
- 12 Обертов Д. Е., Бардов В. М. Алгоритм обнаружения транспортных средств с помощью акселерометров // Информационно-управляющие системы. – 2013. – № 6 (67). – С. 6–13.
- 13 Obertov D. Vehicle Classification Using Measurements From Accelerometers Mounted On The Road Surface[Текст] /Obertov D., Andrievsky B. // Proceedings of the 19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR 2014). Micedzyzdroje, Poland. September 2–5. – 2014. - P. 413–417.
- 14 Obertov D. Vehicle Speed Estimation Using Roadside Sensors[Текст]/Obertov D., Bardov V., Andrievsky B. // Proceedings of the 6th Int. Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT 2014), St. Petersburg, Russia. October 2–6. –2014. IEEE Press. - P. 207–213.
- 15 Обертов Д. Е., Бардов В. М. Определение параметров транспортного средства с использованием датчиков дорожного покрытия // Тез. докл. I Всероссийского конгресса молодых ученых / Спб: СПбГУ ИТМО. – Апрель, 2012. – С. 196–197.
- 16 Миловзоров Г.В., Воробьев А.В., Зигангиров Л.Р. Моделирование работы феррозондового измерительного преобразователя в векторно-измерительных магнитометрах // Датчики и системы. – № 2. – 2012. – С. 21–25.
- 17 Игнатъев А.А., Ляшенко А.В., Костяков В.А., Кудрявцева С.П., Романченко Л.А., Сотов Л.С., Страхова Л.Л., Хвалин А.Л. Отечественные и зарубежные патенты по магнитометрическим датчикам и магнитометрам за 1994- 2003 годы // Гетеромагнитная микроэлектроника. – № 1.– 2004. – С. 149-162.
- 18 Копытенко Ю.А., Мусалимов В.М., Сучкова В.Ю. Микромеханические кремниевые магнитометры// Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – № 9 – 2003. – С. 165–168.

- 19 Кириаков В.Х., Любимов В.В. Магнитометры для электромагнитного мониторинга окружающей среды и исследований в обсерватории // Экономика и производство. – № 1. – 2007. – С. 78–80.
- 20 Померанцев Н. М., Рыжков В. М., Скроцкий Г. В. Средства измерений магнитных величин. Термины и определения // Физические основы квантовой магнитометрии / М. – 1972.
- 21 Сергеев В. Г., Шихин А. Я. Средства измерений параметров магнитного поля// Магнитоизмерительные приборы и установки/ М. – 1982.
- 22 Гудинаф Ф. Интегральный акселерометр на 50 G с самоконтролем, реализованным на нагреваемом возбuditеле // Электроника. – № 7-8. 1993. – С. 54–57.
- 23 Гудинаф Ф. Емкостный датчик ускорения, выполненный на основе сочетания объемной и поверхностной микроструктур // Электроника. 1993. № 11–12. С. 86–87.
- 24 Doscher J. Accelerometer Design and Applications // Analog Devices. – 1998.
- 25 Серридж М., Лихт Т. Р. Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям. // Брюль и Кьер. – 1987.
- 26 Инерциальная навигация [Электронный ресурс]: Интернет-энциклопедия – Режим доступа: [www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/aviaciya\\_i\\_kosmonavtika/INERTSIALNAYA\\_NAVIGATSIYA.html](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/aviaciya_i_kosmonavtika/INERTSIALNAYA_NAVIGATSIYA.html) свободный. Яз. рус. (дата обращения 28.01.2014).
- 27 Альманах [Электронный ресурс]: Сайт компании Элтех – Режим доступа: [www.eltech.spb.ru/pdf/almanah/alm\\_2007\\_1\\_7.pdf](http://www.eltech.spb.ru/pdf/almanah/alm_2007_1_7.pdf) свободный. Яз. рус. (дата обращения 28.01.2014).
- 28 Брюль, Кьер Пьезоэлектрические акселерометры и преусилители. Справочник по теории и эксплуатации // Нэрум: Дания, Брюль и Кьер. – 1978.
- 29 Агейкин, Д.И. Датчики контроля и регулирования // М.«Машиностроение». – 1965. – С. 100–416.
- 30 Евтихийев Н.Н.и др. Измерение электрических и неэлектрических величин// М.: Энергоатомиздат.–1990.– С. 1-352.

- 31 Шарапов В.М. Мусяенко М.П. Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. Учебное пособие // Техносфера. – 2006. – С. 5–35.
- 32 Осадчий Е.П. Проектирование датчиков для измерения механических величин// М.: Машиностроение. – 1979. – С. 5–17.
- 33 Аш Ж. и др. Датчики измерительных систем// М.: Мир.– Т.2. –1992. – С. 25-45.
- 34 Ацюковский В. А. Емкостные дифференциальные датчики перемещения// М. – 1960. – С. 14–43.
- 35 Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. Пер. с нем// М.: Мир. – 1989. – С. 1–196.
- 36 Москвин А. Бесконтактные емкостные датчики// Радио, № 10. – 2002. – С. 38 – 39.
- 37 Осипович Л.А. Датчики физических величин// Машиностроение. – 1979. – С. 4–14.
- 38 Jarasuniene A. Research into intelligent transport systems (ITS) technologies and efficiency // Transport. – 2007. – No 2 (8). P. 61–67.
- 39 Luz Elena Y. Mimbela, Lawrence A. K., Perry K., John L. Hamrick, Karen M. Luces, Sylvia H.A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems // Federal Highway Administration's (FHWA) Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. – August, 2007. – P. 2 – 25.
- 40 Luz E. Y. M.,Cruces L., Lawrence A. K. A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems. – 2000.
- 41 Cheung S.Y., Varaiya P.Traffic Surveillance by Wireless Sensor. Networks: Final Report// California PATH Research Report. – 2007.
- 42 Xin Y.U.Evaluation of Non-intrusive Sensors for Vehicle Classification on Freeways // International Symposium on Freeway and Toll way Operations / Honolulu Hawaii. – 2010.
- 43 Pavlis Y., Aifadopoulou G. Safespot integrated project // ist-4-026963-ip. – 2006. – P. 1–5.
- 44 Bennett C.R., A speed prediction model for rural two-lane highways // A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering. – March, 1994. – P. 5–10.

- 45 Lawrence A. K., Milton K. M., David R.P. Gibson Traffic Detector Handbook: Third Edition—Volume I // FHWA-HRT-06-108. – October, 2006. – P. 1–10.
- 46 Habesch, N.O., Jehanian, K.M., Awadallah, F. Evaluation of Wide Area Detection Systems // Rural Advanced Transportation and Technology Showcase, 1998 International Conference (August 31 to September 2, 1998). – 1998. – P. 1–5.
- 47 Caruso M. J., Withanawasam L. S., Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors // Honeywell Inc. – 1999.
- 48 Garner J.E., Lee C. E. Collection and analysis of augmented weigh-in-motion data // Research Report Number 987-8. – December, 1996. –P. 1- 10.
- 49 Kwigizile V. Connectionist approach to developing highway vehicles classification table for use in Florida // Master thesis. – 2004. – P. 5–15.
- 50 Wikipedia[Электронный ресурс]:Интернет-энциклопедия – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Road\\_safety](http://en.wikipedia.org/wiki/Road_safety) свободный. Яз. англ. (дата обращения 28.01.2014).
- 51 Birk W., Osipov E., Eliasson J. iRoad – cooperative road infrastructure systems for driver support // Proceedings of 16th ITS World Congress 2009 Stockholm, Sweden, 21 – 25 September 2009. Red Hook: Curran.– 2009. – P.5-10.
- 52 IRoad – A research project at Lulea University of Technology [Электронный ресурс]: Сайт проекта Iroad– Режим доступа: <http://www.iroad.se> свободный. Яз. англ. (дата обращения 28.01.2014).
- 53 Cheung S.U., Ergen S.C.,and Varaiya P., Traffic Surveillance with Wireless Magnetic Sensors// Proceedings of the 12th World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS). – 2005. – P. 1–13.
- 54 Isaksson M. Vehicle detection using anisotropic magnetoresistors // Master’s thesis, Chalmers University of Technology. – 2008. – P. 15–25.
- 55 Rajagopal R., Kurzhansky A.B., and Varaiya P. A low-cost wireless mems system for measuring dynamic pavement loads // Technical Report UCB-ITS- PRR-2008-36, California Partners of Advanced Transit and Highways. –2008. – P. 5–25.

- 56 Ma W., Xing D, McKee A., Bajwa R, Flores C., Fuller B. A Wireless Accelerometer-Based Automatic Vehicle Classification Prototype System // Sensys Networks, Inc. – 2013, – P. 1–16.
- 57 Sullivan J. M., Winker C. B., Hagan M. R. Smart barrel for an adaptive queue-warning systems // tech. rep., University of Michigan. – February, 2005. – P. 6–17.
- 58 Misener J., Shladover S. PATH investigation in vehicle-roadside cooperation and safety: A foundation for safety and vehicle-infrastructure integration research // Intelligent Transportation Systems Conference / ITSC '06. IEEE. – 2006. P. 9–16, September 2006.
- 59 Coleri S., Cheung S. Y., Varaiya P., Sensor networks for monitoring traffic, in Communication, Control, and Computing // 2004 42th Annual Allerton Conference on. – August 2004. – P. 5–15.
- 60 Hostettler R., Birk W., M. L. Nordenvaan, Feasibility of road vibration-based vehicle property sensing // Intelligent Transport Systems, IET. –December, 2010. – P. 356–364.
- 61 Birk W., Eliasson J. , Lindgren P., Osipov E., Riliskis L., Road Surface Networks Technology Enablers for Enhanced ITS // IEEE VNC 2010 Conference Proceeding. – December, 2010. – P. 1–6.
- 62 Hostettler R. Traffic Counting Using Measurements of Road Surface Vibrations // Master's thesis, Lulea University of Technology. – 2009.
- 63 Eliasson J., Birk W. Towards road surface monitoring: experiments and technical challenges // Proc. 18th IEEE Int. Conf. Control Applications (CCA); part of the 3rd IEEE Multi-Conference on Systems and Control (MSC 2009), Saint Petersburg, Russia. – July 8–10, 2009. – P. 655–659.
- 64 Birk W., Osipov E. On the design of cooperative road infrastructure systems// Reglermote 2008. – June, 2008. – P. 349–355.
- 65 Birk W., Eliasson J., Lindgren P., Osipov E., Riliskis L. Road Surface Networks Technology Enablers for Enhanced ITS//2010 IEEE Vehicular Networking Conf., VNC 2010: Jersey City, NJ, 13–15 Dec. 2010. Piscataway, NJ: IEEE. – 2010. – P. 152–159.
- 66 Hostettler R., Birk W., Nordenvaad L.M. On the Feasibility of Road Vibrations-based Vehicle Property Sensing //Intelligent Transport Systems. – vol. 4. – No 4. – 2010. – P. 356–364.

- 67 Datasheet Model 832 accelerometer [Электронный ресурс]: Digikey – Режим доступа: [http://media.digikey.com/pdf/Data %20Sheets/Measurement %20Specialties%20PDFs/Model\\_832\\_Accelerometer.pdf](http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Measurement%20Specialties%20PDFs/Model_832_Accelerometer.pdf) свободный. Яз. англ. (дата обращения 28.01.2014).
- 68 National Highway Traffic Safety Administration. Counts for frontal air bag related fatalities and seriously injured persons // U.S. department of transportation national highway traffic safety administration national center for statistics and analysis crash investigation division WASHINGTON, D.C. 20590. – January, 2009. – P. 5–15.
- 69 National Highway Traffic Safety Administration. Fatality Analysis Reporting System Database. – 2008.
- 70 Hegeman G., R. van der Horst, Brookhuis K. A., Hoogendoorn S. P. Functioning and acceptance of overtaking assistant design tested in driving simulator experiment // Journal of the Transportation Research Board. No 2018. – 2007. – P. 45–52.
- 71 Eidehall, Pohl J., Gustafsson F., Ekmark J. Toward autonomous collision avoidance by steering// IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems. – No 8 – March, 2007. – P. 75–84.
- 72 CAR 2 CAR Communication Consortium. Mission and objectives[Электронный ресурс]: Консорциум связи – Режим доступа: <http://car-to-car.org/> свободный. Яз. англ. (дата обращения 28.01.2014).
- 73 Robinson C., Caveney D., Caminiti L., Baliga G., Laberteaux K., Kumar P. Efficient message composition and coding for cooperative vehicular safety applications// IEEE Transactions on Vehicular Technology. – No 56. – November, 2007. – P. 3244–3255.
- 74 Isaksson M. Vehicle detection using anisotropic magnetoresistors // Master’s thesis, Chalmers University of Technology. – 2008. –P. 15-35.
- 75 Sullivan J. M., Winkler C. B., Hagan M. R. Smart barrel for an adaptive queue-warning system//tech. rep., University of Michigan. – February, 2005. – P. 15–25.
- 76 Misener J., Shladover S. PATH investigations in vehicle-roadside cooperation and safety: A foundation for safety and vehicle-infrastructure integration research // IEEE, Intelligent Transportation Systems Conference. (ITSC '06) – 2006. – P. 9–16.

- 77 Coleri S., Cheung S. Y., Varaiya P. Sensor networks for monitoring traffic// 42th Annual Allerton Conference on. Communication, Control, and Computing. – August, 2004. – P. 1-5.
- 78 Hostettler R., Birk W., Lundberg N. M. Surface mounted vehicle property sensing for cooperative vehicle infrastructure systems//16th ITS World Congress CD-ROM: including Technical/Scientific Session Final Papers. – 2009. – P. 1-5.
- 79 Birk, W., Osipov, E. Eliasson, J. iRoad - cooperative road infrastructure systems for driver support//16th ITS World Congress CD-ROM: including Technical/Scientific Session Final Papers. – 2009. – P. 1-7.
- 80 Mississippi Transportation Research Center// Automated accident detection at intersections. –March, 2004. – P. 23-35.
- 81 Cheung S. Y. et al. Traffic Surveillance with Wireless Magnetic Sensors // Proceedings of the 12th ITS World Congress, Vol. 1917. –2005. – P. 173–181.
- 82 Cheung S. Y., Varaiya P. Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks: Final Report// 4 California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2007-4 – January, 2007. – P. 23-45.
- 83 Cheung S. Y. et al. Traffic Measurement and Vehicle Classification with a Single Magnetic Sensor // in Proceedings of the Annual Meeting of the Transportation Research Board. – 2005. – P. 173–181.
- 84 Johansson C., Jonasson C., Erlandsson M., Magnetic Sensors for Traffic Detection, Technical Report // IMEGO, Sweden. – 2006. – P. 1–6.
- 85 Зааль Р. Справочник по расчетам фильтров // М.: Радио и связь. – 1983. С. 75–78.
- 86 Куцко Т. Ю. Расчет полосовых фильтров // М.: Энергия.– 1985.– С. 19-25.
- 87 Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов // СПб.: Питер. –2002. – С. 17–19.
- 88 Белов Г. А. Сигналы и их обработка в электронных устройствах: Учебное пособие // Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 1996. – С. 56–58.
- 89 Яковлев А.Н. Основы вейвлет-преобразования сигналов: Учеб.пособие Новосибирск // Изд-во НГТУ. – 2003. – С. 10–15.

- 90 Chen C. S., Huo K. S., Karhunen–Loeve Method for Data Compression and Speech Synreport, IEEE Proceedings–ИЮ –vol. 138 – No5. – October, 1991. – P. 377–380.
- 91 Cheung S.U., Coleri S., Dundar B., Ganesh S., Tan C., Varaiya P., Traffic Measurement and Vehicle Classification with a Single Magnetic Sensor//PATH Report UCB-ITS-PWP-2004-07. – 2004. – P. 1– 15.
- 92 Crispino M., D’Apuzzo Measurement and prediction of traffic-induced vibrations in a heritage building//Journal of Sound and Vibration. – vol. 246 – No 2. – 2001. – P. 319 – 335.
- 93 Gramner K., Qvarnstrom R., Aberg T. iRoad - Project in Embedded Systems// tech. rep., Lulea University of Technology. – 2009. – p. 1–15.
- 94 Clemente P., Rinaldis D. Protection of a monumental building against traffic- induced vibrations// Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – vol. 17. – No 5. – 1998. – P. 289 – 296.
- 95 Hostettler, R. Birk, W., Analysis of the Adaptive Threshold Vehicle Detection Algorithm Applied to Traffic Vibrations// IFAC World Congress 2011. – 2011. – P. 1–15.
- 96 Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация: пер. с англ./ М.: Мир. – 1982.– С. 1–592.
- 97 Hostettler R., Birk W., Lundberg N. M. Surface mounted vehicle property sensing for cooperative vehicle infrastructure systems//Proceedings of the 69th IEEE Vehicular Technology Conference, Barcelona, Spain, 26–29. – April, 2009. – P. 1–5.
- 98 Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики. М.: СОЛОН-Пресс, 2009.
- 99 Дьяконов В. МАТЛАВ – новые возможности в технологии спектроскопии и спектрометрии // Компоненты и технологии.– 2010. Т. 11. № 112. С. 133–146.
- 100 Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Элементы математического моделирования в программных средах МАТЛАВ 5 и Scilab (учебное пособие). - Санкт-Петербург: Наука. – 2001. – 286 с.

## А Программное обеспечение

### А.1 Программная среда MATLAB. Краткое описание

В качестве программного обеспечения использовался программная система MATLAB.

MATLAB – это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов. С помощью MATLAB можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать модели и приложения [98–100].

Язык, инструментарий и встроенные математические функции позволяют исследовать различные подходы и получать решение быстрее, чем с использованием электронных таблиц или традиционных языков программирования, таких как C/C++ или Java.

MATLAB широко используется в таких областях, как: обработка сигналов и связь, обработка изображений и видео, системы управления, автоматизация тестирования и измерений, финансовый инжиниринг, вычислительная биология и т.п. Более миллиона инженеров и ученых по всем миру используют MATLAB в качестве языка технических вычислений. MATLAB по сравнению с традиционными языками программирования (C/C++, Java, Pascal, Fortran) позволяет на порядок сократить время решения типовых задач и значительно упрощает разработку новых алгоритмов.

MATLAB представляет собой основу всего семейства продуктов *MathWorks* и является главным инструментом для решения широкого спектра научных и прикладных задач, в таких областях как: моделирование объектов и разработка систем управления, проектирование коммуникационных систем, обработка сигналов и изображений, измерение сигналов и тестирование, финансовое моделирование, вычислительная биология и др.

Ядро MATLAB позволяет максимально просто работать с матрицами реальных, комплексных и аналитических типов данных и со структурами данных и таблицами поиска.

MATLAB содержит встроенные функции линейной алгебры (LAPACK, BLAS), быстрого преобразования Фурье (FFTW), функции для работы с полиномами, функции базовой статистики и численного решения дифференциальных уравнений; расширенные математические библиотеки для Intel MKL.

Все встроенные функции ядра MATLAB разработаны и оптимизированы специалистами и работают быстрее или так же, как их эквивалент на C/C++.

### А.2 Тексты MATLAB-программ обработки данных с акселерометров

*Ввод данных из массива данных с расширением mat*

```
clc  
rr=1;
```

```

y1=s1(:,3);
count=length(y1)-10;
freq=fs*rr;
cf=count/freq;
for i=1:1:count
    X(i,1)=i/freq;
    % X(i,2)=y1(i)-1.07;
    X(i,2)=s1(i,3);
end

```

*Вычисление быстрого преобразования Фурье для построения спектрограмм*

```

FF= fft(X(:,2),count);
Pyy = FF.*conj(FF)/count;
f = freq * (0:count/2-1)/count;
figure(2), plot(f, Pyy(1:count/2)), grid,...
    title('FFT'),xlabel('frequency,Hz'), ylabel('magnitude');
figure(3),specgram( X(1:count,2),500,fs);

```

*Построение полосового эллиптического фильтра с частотами среза 850 и 1750 Гц*

```

count=length(y1)-10;
freq=fs*rr;
cf=count/freq;
naiq=freq/2;
n = 6;
Rp = 1;
Rs = 80;
Wn=[850 1750]/naiq;
[A,B,C,D]=ellip(n,Rp,Rs,Wn);
rr=1;
freq=fs*rr;
if freq == 22000
y1=s1(:,3);
elseif freq == 4400
y1=a1-1.07;
count=length(y1)-10;

```

```

cf=count/freq;
for i=1:1:count
X(i,1)=i/freq;
X(i,2)=y1(i);
end

```

*Вычисление быстрого преобразования Фурье для построения спектрограмм*

```

FF= fft(X(:,2),count);
Pyy = FF.*conj(FF)/count;
Pyy(1:50)=0;
f = freq * (0:count/2-1)/count;
if freq == 22000
    figure(2), plot(f(1:count/4), Pyy(1:count/4)), grid, ...
    title('FFT'),xlabel('frequency,Hz'), ylabel('magnitude');
elseif freq == 4400
    figure(2), plot(f(1:count/2), Pyy(1:count/2)), grid,...
    title('FFT'),xlabel('frequency,Hz'), ylabel('magnitude');
end
figure(3),specgram( X(1:count,2),500,fs);

```

*Построение эллиптического фильтра нижних частот с частотой среза пропорциональной скорости TC*

```

count=length(y1)-10;
freq=fs*rr;
%count=length(s1);
cf=count/freq;
naiq=freq/2;
v=24
n = 6;
Rp = 1;
Rs = 60;
if freq == 22000
    Wn=[850 1750]/naiq;
    Wn2=[round(22*v/35)]/naiq;

```

```

elseif freq == 4400
    Wn=[850 1750]/naiq;
    Wn2=[round(22*v/35)]/naiq; %nearest lane
end
[A,B,C,D]=ellip(n,Rp,Rs,Wn);
[A2,B2,C2,D2]=ellip(n,Rp,Rs,Wn2,'low');
sys=SS(A,B,C,D,1/freq);
sys2=SS(A2,B2,C2,D2,1/freq);
y=lsim(sys,X(:,2),X(:,1));

```

*Вычисления квадрата данных (энергии сигнала, мощности)*

```

for i=1:1:count
z(i)= y(i)^2;
end

```

*Вычисления порога, сравнение данных с порогом. Все что меньше – удаляется*

```

if freq == 22000
    maxz=max(z(1:1000))
elseif freq == 4400
    maxz=max(z(1:1000))
end

```

```

for i=1:1:count
    if z(i)< maxz %treshold
        z(i)=0; end
end

```

*Вычисления интервала интегрирования dti для сглаживающего окна*

```

dti=1000*freq/22000;
if freq == 22000
    dti=1000*freq/22000;
elseif freq == 4400
    dti=1000*freq/22000;

```

end

*Сглаживание скользящим средним с интервалом сглаживания dti*

```

u(1)=0;
j=1;
niz=1;
verh=niz+dti;
suma(1)=0;
g(1)=0;
for j=niz:1:verh
    u(j+1)=u(j)+z(j)*(1/freq);
end
suma(1)= u(j+1);g(1)=1/freq;
for i=2:1:count
    if verh <count
        niz=i;
        verh=niz+dti;
        j=verh;
        g(i)=i/freq;
        suma(i)= suma(i-1)+(z(j)-z(i-1))*(1/freq);
    end
end

end

```

```

h=bodeplot(sys);
setoptions(h,'FreqUnits','Hz','grid','on');
title('BODE diagram');
grid on;

```

```

figure(5),plot(X(:,1),X(:,2));
title('initial data z axis');
xlabel('time,s')
ylabel('acceleration,m/s2 ')

```

```
grid on;
figure(6),plot(X(:,1),y);
title('filtered data z axis');
```

```
xlabel('time,s')
ylabel('acceleration,m/s2 ')
grid on;
```

```
figure(7),plot(X(:,1),z);
title(' power signal');
xlabel('time,s')
ylabel('power ')
grid on;
```

```
figure(8),plot(g,suma);
title(' energy envelope');
xlabel('time,s')
ylabel('energy envelope ')
grid on;
```

```
yf=lsim(sys2,suma,g);
figure(9),plot(g,yf,'r')
title(' energy envelope after lowpass filter');
xlabel('time,s')
ylabel('energy envelope')
grid on
```

```
max_peak=max(yf)
```

```
if freq == 22000
    if max_peak>0.00002
        threshold_=0.19*max_peak;
    else threshold_=0.33*max_peak;
```

```

    end
elseif freq == 4400
    threshold_=0.55*max_peak;
end

for i=1:1:length(yf)
    if yf(i)<threshold_
        yf(i)=0; end
end

figure(10),plot(g,yf,'b')
title(' energy envelope after lowpass filter and treshold');
xlabel('time,s')
ylabel(' ')
grid on;

lenyf=length(yf);
pp=round(150*dti/1000*lenyf/44000);
if freq == 22000
    pp=round(150*dti/1000*lenyf/44000);
elseif freq == 4400
    pp=round(150*dti/1000*lenyf/44000);
end
for i=pp:pp:lenyf
    a(i/pp)=i/freq;
end
yi = interp1(g, yf, a, 'pchip');
figure(11),plot(a,yi,'r')
title(' energy envelope interpolated pchip');
xlabel('time,s')
ylabel('energy envelope')
grid on
%find maximums
vehicle=' '
other=' '
typ=' '

```

```

class = '          ';
maxi=0;
time=0;
maxi2=0;
time2=0;
maxi3=0;
time3=0;
tt=0;
axe=0;
length_sum_of_axes=0;
flag=0;
fl=0;
k=1;
lengthp(1:20)=0;
lengthm(1:20)=0;
j=1;
m=0;
fl=1;
fp=1;fm=1;
%tp=1;tm=1;
fp(1)=0;
gl=1;
for i=1:1:length(yi)-1
    if yi(i)~=0 && gl==1
        tp(1)=a(i-1);
        gl=0;
    end
end
for i=1:1:length(yi)-1

    if yi(i)<yi(i+1)
        flag=1;

    else

```

```

    if flag==1
        maxi2(k)=yi(i)
        time2(k)=a(i)
        tt(k)=i;
        k=k+1
        flag=0;

    end

end

if yi(i)<yi(i+1)
    if fl==0
        j=j+1;
        fp(m+1)=yi(tt(m)+lengthm(m));
        tp(m+1)=a(tt(m)+lengthm(m));
    end
    lengthp(j)=lengthp(j)+1;
    fl=1;

elseif yi(i)>yi(i+1)
    if fl==1
        m=m+1;

        fm(j)=yi(tt(j)-lengthm(j));
        tm(j)=a(tt(j)-lengthm(j));
    end
    lengthm(m)=lengthm(m)+1;
    fl=0;

end

end

end

fp(m+1)=0;
gl=1;
for i=length(yi)-1:-1:1

```

```

if yi(i)~=0 && gl==1
    tp(m+1)=a(i+1);
    gl=0;
end
end
%cmax(yi)
maxi3(1)=0;time3(1)=0;
tec=1;
maxyi =0;
for i=1:1:k-1

    if fm(i)-fp(i) >maxyi
        maxyi=fm(i)-fp(i);
    end
    if fm(i)-fp(i+1) >maxyi
        maxyi=fm(i)-fp(i+1);
    end
end
end
kk=k;
maxyi =0.08*maxyi ;
for i=1:1:k-1
    if fm(i)-fp(i) >maxyi && fm(i)-fp(i+1) >maxyi
        maxi3(tec)= maxi2(i);
        time3(tec)=time2(i);
        tec=tec+1;
    end
    if fm(i)-fp(i+1) <maxyi && fm(i+1)-fp(i+1) <maxyi &&...
(fm(i)-fp(i) >maxyi || fm(i+1)-fp(i+2) >maxyi)
        maxi3(tec)= fp(i+1);
        time3(tec)=tp(i+1);
        tec=tec+1;
    end
end
end
k=tec;

```

```

maxi(1)=maxi3(1);time(1)=time3(1);
tec=1;
for i=2:1:k-1

if (time3(i)-time(tec))*v>=0.6
    tec=tec+1;
    maxi(tec)=maxi3(i)
    time(tec)=time3(i)
end
end

k=tec+1
jj=k;
for i=1:1:k-2
    if(k-1>1)
        axe(i)= (time(i+1)- time(i))*v
        if (axe(i)>=0 && axe(i)<0.8) class(i)='A'
        elseif (axe(i)>=0.8 && axe(i)<1.8) class(i)='B'
        elseif (axe(i)>=1.8 && axe(i)<3.3) class(i)='C'
        elseif (axe(i)>=3.3 && axe(i)<6.0) class(i)='D'
        elseif (axe(i)>=6.0 && axe(i)<12.0) class(i)='E'
        elseif (axe(i)>12.0) class(i)=' ';
    end
end
end
for i=1:1:k-2
if axe(i)>12 class(i:k-2)=' ';axe(i:k-2)=0;
    k=i+1;
end
end
if(k-2==1)
    % _____ two axes
    i=1;
    if class(i)=='B'
        typ='MC '
    end
end

```

```

        vehicle='Motorcycle'
elseif class(i)=='C'
    typ='P20'
    vehicle='Car'
    if (axe(i)>=1.8 && axe(i)<2.38) other='very small'
    elseif (axe(i)>=2.38 && axe(i)<2.575) other='small'
    elseif (axe(i)>=2.575 && axe(i)<2.66) other='small medium'
    elseif (axe(i)>=2.66 && axe(i)<2.77) other='medium'
    elseif (axe(i)>=2.77 && axe(i)<2.815)...
other='medium or business'
    elseif (axe(i)>=2.815 && axe(i)<2.9) other='business'
    elseif (axe(i)>=2.9 && axe(i)<3.3) ...
other='representative'
    end
elseif class(i)=='E'
    typ='L20'
    vehicle='Truck'
elseif class(i)=='D'
    typ='L20'
    vehicle='Truck'
end
%_____ three axes

elseif(k-2==2)
    for i=1:1:k-2
        if (class(1)=='C' || class(1)=='E' ||...
class(1)=='D' )
            if (class(2)=='B' )
                typ='L30 '
                vehicle='Truck'
            end
        end
    end

    if (class(1)=='D' || class(1)=='E' )
        if (class(2)=='C' )

```

```

        typ='L21 or L24'
        vehicle='Truck with trailer'
    elseif (class(2)=='D' || class(2)=='E' )
        typ='L22 or L24'
        vehicle='Truck with trailer'
    elseif (class(2)=='B')
        typ='L23 or L30'
        vehicle='Truck with trailer, Truck'
    end
end
    if (class(1)=='C')
        if (class(2)=='C' || class(2)=='D' || class(2)=='E')
            typ='P21'
            vehicle='Car with trailer'
        end
    end
end
    end
    %_____ four axes
elseif(k-2==3)

    for i=1:1:k-2
        if (class(1)=='C' || class(1)=='E' || class(1)=='D')
            if (class(2)=='B')
                if (class(3)=='B')
                    typ='L31 '
                    vehicle='Truck with trailer'
                elseif (class(3)=='C')
                    typ='L32 '
                    vehicle='Truck with trailer'
                elseif (class(3)=='D')
                    typ='L33'
                    vehicle='Truck with trailer'
                elseif (class(3)=='E')
                    typ='L34'
                    vehicle='Truck with trailer'
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
if (class(1)=='C')
    if (class(2)=='C' || class(2)=='D')
        if (class(3)=='A')
            typ='P22'
            vehicle='Car with trailer'
        end
    end
end
end
end
if (class(1)=='E' || class(1)=='D')
    if (class(2)=='C' || class(2)=='E' || class(2)=='D')
        if (class(3)=='C' || class(3)=='E' || class(3)=='D')
            typ='L25 '
            vehicle='Truck with trailer'
        end
    end
end
end
end
% _____ five axes

elseif(k-2==4)
    for i=1:1:k-2
        if (class(1)=='C' || class(1)=='D')
            if (class(2)=='B')
                if (class(3)=='C' || class(3)=='E' ||...
class(3)=='D')

                    if (class(4)=='B' || class(4)=='C' ||...
class(4)=='E' || class(4)=='D')
                        typ='L35 '
                        vehicle='Truck with trailer'
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```

        end
    end

    if (class(1)=='D' || class(1)=='E')
        if (class(2)=='D' || class(2)=='E')
            if (class(3)=='B' || class(3)=='C')

                if (class(4)=='B' || class(4)=='C')
                    typ='L26'
                    vehicle='Truck with trailer'
                end
            end
        end
    end
end

    if (class(1)=='D' || class(1)=='E')
    if (class(2)=='B' || class(2)=='C')
        if (class(3)=='C' || class(3)=='D' || ...
class(3)=='E')

            if (class(4)=='B' || class(4)=='C')
                typ='L27'
                vehicle='Truck with trailer'
            end
        end
    end
end
end

    end

%_____ six axes
elseif(k-2==5)
    for i=1:1:k-2
        if (class(1)=='C' || class(1)=='D')
            if (class(2)=='B')
                if (class(3)=='D' || class(3)=='E')

```

```

        if (class(4)=='B' || class(4)=='C')
            if (class(5)=='B' || ...
class(5)=='C')
                typ='L36'
                vehicle='Truck with trailer'
            end
        end
    end
end
end

    if (class(1)=='C' || class(1)=='D')
        if (class(2)=='B')
            if (class(3)=='B' || class(3)=='C')
                if (class(4)=='D' || class(4)=='E'...
|| class(4)=='C')
                    if (class(5)=='B' || class(5)=='C')
                        typ='L37'
                        vehicle='Truck with trailer'
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end

length_sum_of_axes=0;
if vehicle==' '
%     for i=1:1:kk-2
%         if (time2(i+1)-time2(i))*v<12
%             length_sum_of_axes=length_sum_of_axes+...
(time2(i+1)-time2(i))*v;
%         else kk=2;
%     end
% end
end

```

```

length_sum_of_axes=sum(axe);
else length_sum_of_axes=sum(axe);
end
sum_of_axes =length_sum_of_axes;
flag=0;
if typ==' ' flag=1; end;
if (sum_of_axes>=0 && sum_of_axes<0.8 && flag==1) class='A'
elseif (sum_of_axes>=0.8 && sum_of_axes<1.8 && flag==1)
class='B'
typ='MC '
vehicle='motorcycle'
elseif (sum_of_axes>=1.8 && sum_of_axes<3.3 && flag==1)
class='C'
typ='P20 '
vehicle='Passenger car'
end
if (sum_of_axes>=1.8 && sum_of_axes<2.38 && ...
flag==1) other='very small'
elseif (sum_of_axes>=2.38 &&...
sum_of_axes<2.575 && flag==1 ) other='small'
elseif (sum_of_axes>=2.575 &&...
sum_of_axes<2.66 && flag==1) other='small medium'
elseif (sum_of_axes>=2.66 &&...
sum_of_axes<2.77 && flag==1) other='medium'
elseif (sum_of_axes>=2.77 &&...
sum_of_axes<2.815 && flag==1) other='medium or business'
elseif (sum_of_axes>=2.815 &&...
sum_of_axes<2.9 && flag==1) other='business'
elseif (sum_of_axes>=2.9 &&...
sum_of_axes<3.3 && flag==1) other='representive'
end

if (sum_of_axes>=3.3 && sum_of_axes<4.9 && flag==1)
typ='P21,P22,L20,L30'
vehicle='Passenger car with trailer, truck'

```

```
end
  if (sum_of_axes>=4.9 && sum_of_axes<10.1 && flag==1)
    typ='L20-L27,L30-L37,P21-P22'
    vehicle='Truck,Truck with trailer,Passenger car with trailer '
  end
  if (sum_of_axes>=10.1 && sum_of_axes<10.5 && flag==1)
    typ='L20-L27,L30-L37'
    vehicle='Truck,Truck with trailer'
  end
  if (sum_of_axes>=10.5 && sum_of_axes<31.5 && flag==1)
    typ='L21-L27, L31-L37'
    vehicle='Truck with trailer'
end
v
maxi
time
axe
length_sum_of_axes
flag
class
typ
other
vehicle
```

### А.3 Тексты MATLAB-программ обработки данных с магнитометров

Последовательность запуска программы:

1) Открыть файл с данными (например *car\_trailer\_30\_\_acc.mat*)

2) Параметры для обработки

```
clc
N=length(m1);           %number of points
%trx=1.5*10^-7;        %threshold
mx=1;                  %indexes of X points which value more than treshold
my=1;                  %indexes of Y points which value more than treshold
mz=1;                  %indexes of Z points which value more than treshold
```

*Расчет смещения*

```
xo=mean(m1(1:100,1));%x offset
yo=mean(m1(1:100,2));%y offset
zo=mean(m1(1:100,3));%z offset
```

*Расчет среднего значения*

```
%find average value
w=3;   %window's width
k=fix(N/w); %number of windows
for i=1:1:k
    t2(i)=i*w/fs;
    Xa(i)=mean(m1((i-1)*w+1:i*w,1))-xo;
    Ya(i)=mean(m1((i-1)*w+1:i*w,2))-yo;
    Za(i)=mean(m1((i-1)*w+1:i*w,3))-zo;
end
tr_x=max(abs(Xa(1,1:50)));
tr_y=max(abs(Ya(1,1:50)));
tr_z=max(abs(Za(1,1:50)));
for i=1:1:k
    if abs(Xa(1,i))>tr_x*2
        px(mx)=i;
        mx=mx+1;
    end
end
```

```

end
if abs(Ya(1,i))>tr_y*2
py(my)=i;
my=my+1;
end
if abs(Za(1,i))>tr_z*2
pz(mz)=i;
mz=mz+1;
end
end

```

*Нахождение начального и конечного времени*

```

%find start and finish time
k=20;%number of windows
%X
t_sx=min(px)-4;%start time
t_fx=max(px)+4;%finish time
wx=ceil((t_fx-t_sx)/k);%window's width
t_sx=t_sx-fix((wx*k-(t_fx-t_sx))/2);
t_fx=t_sx+wx*k;
%Y
t_sy=min(py)-4;%start time
t_fy=max(py)+4;%finish time
wy=ceil((t_fy-t_sy)/k);%window's width
t_sy=t_sy-fix((wy*k-(t_fy-t_sy))/2);
t_fy=t_sy+wy*k;
%Z
t_sz=min(pz)-4;%start time
t_fz=max(pz)+4;%finish time
wz=ceil((t_fz-t_sz)/k);%window's width
t_sz=t_sz-fix((wz*k-(t_fz-t_sz))/2);
t_fz=t_sz+wz*k;

```

*Нахождение среднего значения*

```

%find average value

```

```

for i=1:1:k
    X(i)=mean(Xa(1,t_sx+(i-1)*wx:(t_sx+i*wx)));
    Y(i)=mean(Ya(1,t_sy+(i-1)*wy:(t_sy+i*wy)));
    Z(i)=mean(Za(1,t_sz+(i-1)*wz:(t_sz+i*wz)));
end

```

*Расчет нормализации амплитуды*

```

%normalize the amplitude
max_x=max(abs(X(1,:)));
max_y=max(abs(Y(1,:)));
max_z=max(abs(Z(1,:)));
for i=1:1:k
    X(1,i)=X(1,i)/max_x;
    Y(1,i)=Y(1,i)/max_y;
    Z(1,i)=Z(1,i)/max_z;
end
subplot(311);
bar(X);
subplot(312);
bar(Y);
subplot(313);
bar(Z);

```

*3) Загрузить файл с данными*

```

load BANK.mat
row_num=size(BANK,1);
for i=1:1:row_num
    for j=1:1:20
        xd(i,j)=(BANK(i,j)-X(1,j))^2;
        yd(i,j)=(BANK(i,j+20)-Y(1,j))^2;
        zd(i,j)=(BANK(i,j+40)-Z(1,j))^2;
    end
end
for i=1:1:row_num
    s(1,i)=sqrt(sum(xd(i,:))+sum(yd(i,:))+sum(zd(i,:)));

```

```

end
for i=1:1:row_num
    if s(1,i)==min(s(1,:))
        class=i;
        RMS=s(1,:);
    end
end
disp(['Distribution of RMS: ',num2str(RMS)]);
switch class
    case 1
        disp('Vehicle class - Passenger car with trailer');
    case 2
        disp('Vehicle class - Minibus');
    case 3
        disp('Vehicle class - Truck');
    case 4
        disp('Vehicle class - Truck with trailer');
end

```

#### 4) Расчет оценки скорости ТС

```

N=size(Xa,2);
for i=1:1:N
    alpha(i)=(atan(Xa(1,i)/Ya(1,i)))/pi*180;
end
%plot(alpha);

m=1;
n=1;
bottom=0;
top=0;
for i=min(t_sx,t_sy)-10:1:min(t_fx,t_fy)+10
    if alpha(1,i)<-40
        bot_tom(1,m)=i;
        m=m+1;
    end
end

```

```

end
if alpha(1,i)>40
    to_p(1,n)=i;
    n=n+1;
end
end
for i=2:1:m-1
    if bot_tom(1,i)-bot_tom(1,i-1)>20
        bottom=bot_tom(1,i-1);
    end
end
for i=2:1:n-1
    if to_p(1,i)-to_p(1,i-1)>20
        top=to_p(1,i);
    end
end
if bottom==0
    bottom=max(bot_tom(1,:));
end
if top==0
    top=min(top(1,:));
end
kb=abs(alpha(1,bottom+1)-alpha(1,bottom));
bottom=(alpha(1,bottom)+40)/kb+bottom;
kt=abs(alpha(1,top)-alpha(1,top-1));
top=top-abs(alpha(1,top)-40)/kt;
length=top-bottom;
velocity=BANK(class,63)/length*30;
disp(['Velocity = ',num2str(velocity)]);

```

*5) Сохранение результатов*

```

load BANK.mat
row_num=size(BANK,1)+1;
for i=1:1:20

```

```
BANK(row_num, i)=X(1, i);  
BANK(row_num, i+20)=Y(1, i);  
BANK(row_num, i+40)=Z(1, i);  
end  
BANK(row_num, 61)=30;  
BANK(row_num, 62)=4;  
BANK(row_num, 63)=164.0319;
```

## В Классификация колесных баз транспортных средств

По международной классификации выделяется пять типов расположения осей в зависимости от расстояния между соседними колесами: *A*, *B*, *C*, *D*, *E* (рисунок В.1). Если колесная база (расстояние между соседними осями автомобиля) от 80 до 180 см, то ТС относится к мотоциклам, от 180 до 330 см – к легковым автомобилям и т.д. Возможно и более сложные варианты расположения осей, показанные на рисунке В.1.

На основе анализа колесной базы автомобилей – продольного расстояния между соседними осями – разработана классификация ТС, приведенная в таблице В.1.

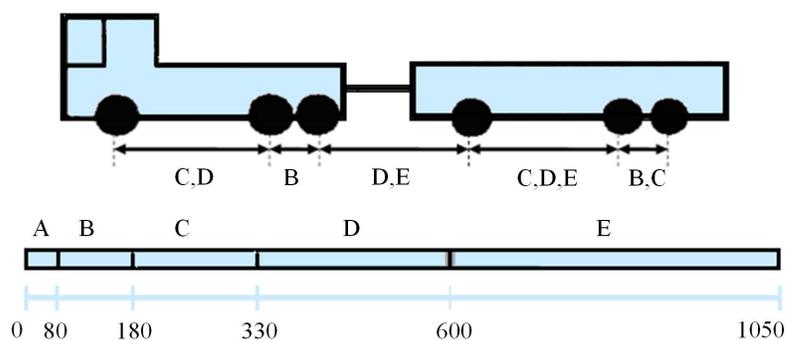
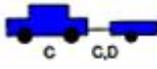
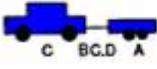
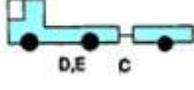
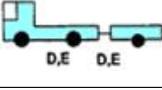
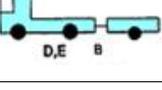
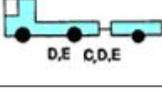
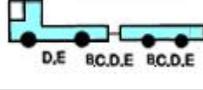
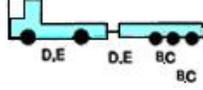
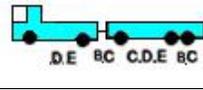


Рисунок В.1 — Классификация колесных баз транспортных средств.

Таблица В.1 — Классификация ТС по колесной базе.

Класс ТС	Классы колесных баз	Условное изображение класса	Обозначение ТС
Мотоцикл	В		МС
Легковой автомобиль	С		P20
Легковой автомобиль с прицепом	С-С, D		P21
	С-В, С, D-А		P22
Грузовик (две оси)	D, E		L20
Грузовик (две оси) с прицепом	D, E-С		L21
	D, E-D, E		L22
	D, E-B		L23
	D, E-С, D, E		L24
	D, E-B, C, D, E-B, C, D, E		L25
	D, E-D, E-B, C-B, C		L26
	D, E-D, E-B, C-B, C		L27

Продолжение таблицы В.1. Классификация ТС по колесной базе.

<b>Класс ТС</b>	<b>Классы колесных баз</b>	<b>Условное изображение класса</b>	<b>Обозначение ТС</b>
Грузовик (три оси)	C, D-B		L30
Грузовик (три оси) с прицепом	C, D-B-C		L31
	C, D-B-D, E E		L32
	C, D-B-B		L33
	C, D-B-C, D, E		L34
	C, D-B-C, D, E-B, C, D, E		L35
	C, D-B-D, E-B, C-B, C		L36
	C, D-B-B, C-C, D, E-B, C		L37