

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

На правах рукописи



**САЯПОВА Линера Радиковна**

**ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ И УПРАВЛЯЮЩИЙ  
КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ  
НА БАЗЕ ИНФО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И  
СРЕДСТВ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИИ**

Специальность 05.11.16–  
Информационно-измерительные и управляющие системы  
(в промышленности и медицине)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
Ефанов Владимир Николаевич

Уфа – 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИТС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ .....	14
1.1. Роль современных инфо-телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации в повышении эффективности и безопасности эксплуатации транспортных средств .....	15
1.2. Анализ тенденций развития программно-аппаратных средств информационно-измерительных и управляющих комплексов для ИТС с учетом перспективных систем спутниковой навигации .....	21
1.3. Принципы обеспечения метрологических характеристик информационно- измерительных систем позиционирования транспортных средств на базе спутниковых навигационных систем.....	35
1.4. Исследование особенностей алгоритмов маршрутизации при решении задачи контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств.....	46
1.5. Результаты и выводы по первой главе .....	49
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИТС.....	52
2.1. Обоснование трехуровневой архитектуры информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС.....	53
2.2. Методика отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС на базе CASE-технологии.....	59
2.3. Принципы формирования программно-аппаратного состава информационно- измерительного и управляющего комплекса для ИТС на основе компонент высокой степени готовности .....	67
2.4. Особенности аппаратного состава периферийных устройств информационно- измерительного и управляющего комплекса для ИТС .....	73

2.5. Результаты и выводы по второй главе .....	82
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИТС .....	83
3.1. Методика совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик .....	84
3.2. Метод контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных.....	91
3.3. Алгоритм поиска оптимального маршрута с использованием принципа последовательных уступок .....	99
3.4. Методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы.....	106
3.5. Результаты и выводы по третьей главе .....	116
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ «СПУТНИК».....	118
4.1. Состав имитационной модели «Спутник».....	118
4.2. Описание пользовательского интерфейса имитационной модели «Спутник» .	128
4.3. Сценарии моделирования системы позиционирования ТС с использованием имитационной модели «Спутник»» .....	138
4.4. Результаты и выводы по четвертой главе .....	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	146
СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ .....	148
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	149
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	159

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** В целях обеспечения национальной безопасности, проведения независимой политики в области спутниковой навигации, повышения эффективности управления движением транспорта, уровня безопасности перевозок пассажиров, специальных и опасных грузов в РФ разрабатывается интеллектуальная транспортная система (ИТС), предназначенная для муниципальных и государственных заказчиков, основными задачами которой являются мониторинг и диспетчеризация транспорта различного назначения в масштабах регионов (субъектов Федерации) и муниципальных образований. Однако создание подобных систем требует решения ряда сложных научных проблем, среди которых можно выделить научное обоснование унифицированной архитектуры перспективных информационно-измерительных и управляющих систем, служащих основой телематической платформы ИТС, разработка алгоритмического обеспечения информационно-измерительных и управляющих систем ИТС, а также разработка персональных динамических цифровых навигационных карт, баз данных и пользовательских интерактивных on-line сервисов, создания встраиваемых интеллектуальных средств для формирования оптимальных маршрутов и руководства водителем на маршруте.

Отмеченные обстоятельства обуславливают актуальность сформулированной темы диссертационной работы, направленной на разработку унифицированной архитектуры комплекса информационно-измерительных и управляющих систем, служащих основой телекоммуникационной платформы для интеллектуальных транспортных систем.

**Степень разработанности темы.** Учитывая важную роль, которую играют ИТС в социально-экономическом развитии, подавляющее большинство ведущих мировых государств разрабатывают национальные программы создания ИТС, В России формирование единой национальной платформы развития рынка ИТС осуществляется в рамках общественной организации - Некоммерческого партнерства «Интеллектуальные Транспортные Системы – Россия» (НП «ИТС-Россия»), При этом задачи разработки и реализации основных компонент

информационных технологий и систем, входящих в ИТС, рассмотрены в работах отечественных и зарубежных ученых: Горева А.Э., Жанказиева С.В., Крючкова В.В., Шишкарева С.Н., Алексеева О.П., Зырянова В.В., Кочерги В.Г., Кузьмича С.И., Панамаревой О.Н., Лабецкой Ю.В., Ицковича Б.С., Михеевой Т.И., Климова В.П., Криволаповой О. Ю., Пугачёва И.С., Пронина С.В., Бека Ю.М., Задеры В.И., Козлова Л.Н., Урличича Ю.М., Циклиса Б.Е., R. Ramirez-Iniguez, . R. Bossom, JamesDeBell, AlbertoBrodji.

Тем не менее, в указанных работах недостаточное внимание уделяется вопросам системного подхода при разработке ИТС, в котором должны учитываться: специфика различных видов транспортных средств, специфика региональной дорожной сети и специфичные проблемы управления дорожным движением, обеспечения целостности навигационных измерений применительно к наземным транспортным средствам и комплексному учету факторов, влияющих на безопасность движения, что создает ощущение отсутствия эффекта от работы ИТС. Все это обуславливает необходимость дальнейших научных исследований в области создания унифицированной телематической платформы ИТС.

**Объектом исследования** являются информационно-измерительные и управляющие комплексы, предназначенные для использования в региональных ИТС.

**Предмет исследования:** теоретические и практические проблемы формирования архитектуры и алгоритмического обеспечения перспективных информационно-измерительных и управляющих систем.

**Целью работы** является повышение эффективности информационно-измерительного и управляющего комплекса, предназначенного для использования в региональных ИТС, за счет разработки унифицированной архитектуры, обеспечивающей высокую точность измерения местоположения и оптимизацию управления движением транспортных средств.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать унифицированную архитектуру программно-аппаратных средств информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС.
2. Разработать методику отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС на базе CASE-технологии.
3. Разработать методику совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик.
4. Разработать метод и технические средства контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных.
5. Разработать методику улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств.
6. Провести оценку эффективности разработанного информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с использованием имитационной модели «Спутник».

**Методология и методы исследования.** Поставленные в диссертационной работе задачи решались с использованием методов системного анализа, информационно-измерительной техники, теории автоматического управления, методологии SADT, методов векторной оптимизации, теории графов, теории информационных и телекоммуникационных систем, методики имитационного объектно-ориентированного моделирования.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Научное обоснование унифицированной архитектуры информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем (п. 1 Паспорта специальности 05.11.16).
2. Методика отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем на базе CASE-технологии (п. 4 Паспорта специальности 05.11.16).

3. Методика совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик (п. 6 Паспорта специальности 05.11.16).

4. Метод и технические средства контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных (п. 2 Паспорта специальности 05.11.16).

5. Методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств, обеспечивающая гарантированную целостность навигационных определений и их высокую точность за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы (п. 3 Паспорта специальности 05.11.16).

6. Результаты оценки эффективности разработанного информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем с использованием имитационной модели «Спутник», предназначенной для отработки и испытаний информационно-измерительных и управляющих систем спутниковой навигации (п. 4 Паспорта специальности 05.11.16).

#### **Научная новизна:**

1. Унифицированная архитектура программно-аппаратных средств информационно-измерительного и управляющего комплекса отличается тем, что в рамках ее трехуровневой структуры реализуется единая информационная среда, что позволяет комплексно решать задачи управления транспортными системами региона за счет идентификации, высокоточной навигации и позиционирования, а также телематического мониторинга транспортных средств.

2. Методика отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем на базе CASE-технологии отличается тем, что за счет предложенной открытой архитектуры информационно-вычислительной системы на основе

оптоволоконного GigabitEthernet-кольца формируется интегрированная информационная среда интеллектуального управления эксплуатацией транспорта, позволяющая в реальном масштабе времени решать задачи управления движением каждого транспортного средства, управления перевозками и управления транспортной средой.

3. Методика совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем отличается тем, что для устранения противоречий, возникающих при оптимизации технических, эксплуатационных и экономических показателей, предлагается использовать метод обобщенных рангов, позволяющий получать объективно обоснованные компромиссные решения.

4. Метод контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств отличается тем, что за счет использования расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями достигается оптимизация комплексного критерия безопасности движения.

5. Методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств отличается тем, что она позволяет использовать избыточные навигационные измерения, получаемые от НИСЗ и «псевдоспутников» локальной радионавигационной системы для обеспечения гарантированной целостности навигационных определений и их высокой точности.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в следующем:

1. Существенно расширены общепринятые научные представления о принципах и подходах к разработке информационно-измерительных и управляющих систем, предназначенных для организации движения транспортных средств, на основе инфо-телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации.

2. Предложен эффективный метод создания интегрированной информационной среды интеллектуального управления эксплуатацией



транспорта, базирующийся на системной модели информационно-измерительного и управляющего комплекса интеллектуальной транспортной системы, построенной с использованием CASE-технологии.

3. Раскрыт механизм формирования оптимального аппаратного состава информационно-измерительных и управляющих систем с открытой архитектурой на базе компонент высокой степени готовности.

4. Установлены новые аналитические соотношения, позволяющие математически корректно решать переопределенные системы уравнений на основе избыточных навигационных измерений, полученных от НИСЗ и «псевдоспутников» локальной радионавигационной системы.

5. Внедрение в производственно-хозяйственную деятельность транспортных предприятий методики оптимизации маршрутов движения транспортных средств по комплексу показателей позволит, по экспертным оценкам, сократить долю транспортных расходов в себестоимости продукции и услуг до 10-15%; снизить потребление топлива в крупных городах на 20-30%; снизить выбросы CO<sub>2</sub> на 17%.

6. Предложенные в работе модели и алгоритмы позволяют повысить качество транспортных услуг за счет строгого соблюдения графика движения, минимизации времени прибытия по вызову, ритмичного выполнения грузоперевозок, оптимизации маршрутной сети, сбалансированной загрузки транспортных средств, минимизации холостого пробега, а также повысить безопасность перевозок за счет соблюдения скоростного режима, предотвращения аварийных ситуаций и представления наиболее полных и достоверных сведений о работе автотранспорта, что в целом позволяет снизить время поездки на 20%.

Практика применения имитационной модели «Спутник» (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011619044) свидетельствует о сокращении в среднем на 20–30% временных затрат на выбор оптимального маршрута поездки.

Практическая значимость результатов подтверждается актами внедрения в практику работы отдела ГИБДД Управления МВД России по городу Уфе и в производственную деятельность ООО Агенство МКС в компании DHL Int.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность полученных результатов и выводов обосновывается тем, что в теоретических построениях использовались законы и подходы, справедливость которых признана в области создания и совершенствования сложных информационно-измерительных и управляющих систем, комплексов их контроля и испытания, а также известный и корректный математический аппарат метрологического обеспечения, контроля и испытаний информационно-измерительных систем глобального спутникового позиционирования; вводимые допущения мотивировались фактами, известными из практики управления движением транспортных средств.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях и семинарах: Десятая международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ (Самара, 2009), Всероссийская молодежная научная конференция Мавлютовские чтения (Уфа, 2009 – 2013), Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых (Уфа, 2012 – 2013), XXXV Международная молодежная научная конференция Гагаринские чтения (Москва, 2009), II международная конференция "Интеллектуальные технологии обработки информации и управления", 10 - 12 ноября, Уфа, Россия, 2014.

**Публикации.** Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 18 работах, включая 8 статей, в том числе 6 статей в научных изданиях из списка ВАК («Системы управления и информационные технологии», «Информационно-измерительные и управляющие системы», «Вестник УГАТУ», «Электротехнические и информационные комплексы и системы»), 9 публикаций в трудах и материалах конференций и 1 свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ.

**Личный вклад автора.** Личный вклад автора состоит в непосредственном участии во всех этапах исследований, направленных на разработку информационно-измерительного и управляющего комплекса, предназначенного

для использования в региональных ИТС, включая теоретическое обоснование унифицированной архитектуры комплекса, разработку алгоритмического обеспечения для высокоточного позиционирования и оптимизации управления движением ТС, а также проведение экспериментальных исследований с анализом полученных результатов. В работе [64] автором обоснована унифицированная архитектура информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС, разработаны его функциональная и информационная модели на базе CASE-технологии. В работе [65] предложена методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы. В работах [55], [66] излагаются предложенные автором метод и технические средства контроля безопасности маршрутов движения ТС на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных. В работе [71] поставлена и решена задача улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы, проведен анализ эффективности разработанного информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с использованием имитационной модели «Спутник». В статье [72] автор описывает методику совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Основное содержание работы изложено на 171 страницах машинописного текста, включая 34 рисунков и 20 таблицы. Список литературы содержит 91 наименование и занимает 9 страниц.

Во введении обосновывается актуальность исследования, сформулированы задачи работы, отмечена новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**Первая глава** посвящена исследованию принципов построения информационно-измерительных и управляющих комплексов для ИТС с использованием современных инфо-телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации. Рассматривается их роль в повышении эффективности и безопасности эксплуатации транспортных средств. Проводится анализ тенденций развития программно-аппаратных средств информационно-измерительных и управляющих комплексов для ИТС с учетом перспективных систем спутниковой навигации. Важное внимание уделяется принципам обеспечения метрологических характеристик информационно-измерительных систем позиционирования транспортных средств на базе спутниковых навигационных систем и исследованию особенностей алгоритмов маршрутизации при решении задачи контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств.

На основе проведенных исследований формулируются цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** рассматриваются вопросы разработки унифицированной архитектуры информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем (ИИУК ИТС). Приводится обоснование трехуровневой архитектуры ИИУК ИТС. Предлагается методика отработки функционального состава ИИУК ИТС на базе CASE-технологии. Представлен подход к созданию информационно-измерительных и управляющих систем с открытой архитектурой на базе компонент высокой степени готовности. На этой основе были разработаны рекомендации по формированию аппаратного состава периферийных устройств ИИУК ИТС.

**В третьей главе** разрабатывается алгоритмическое и метрологическое обеспечение ИИУК ИТС. Предложена методика совершенствования аппаратного состава ИИУК ИТС с целью улучшения технических, эксплуатационных и

экономических характеристик. Представлен метод контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных. Разработан алгоритм поиска оптимального маршрута с использованием принципа последовательных уступок. Разработана методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы.

**В четвертой главе** проведена оценка эффективности ИИУК ИТС с использованием имитационной модели «Спутник». Разработана структура имитационной модели «Спутник». Описан пользовательский интерфейс этой модели. Рассмотрены сценарии моделирования системы позиционирования ТС с использованием программной реализации имитационной модели «Спутник».

В заключении приводятся основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложении представлены исходные данные сценариев оценки эффективности системы позиционирования ТС с использованием имитационной модели «Спутник», а также акты внедрения результатов диссертационной работы в производственную деятельность отдела ГИБДД Управления МВД России по городу Уфе и ООО Агентство МКС в компании DHL Int.

# **ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИТС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ**

В данной главе исследуются возможности современных инфо-телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации в повышении эффективности и безопасности эксплуатации транспортных средств, в результате чего сокращаются непроизводительные затраты на транспортировку грузов, происходит ускорение развития транспортной инфраструктуры, расширяется возможность для внедрения услуг по информационному обслуживанию и мониторингу транспортных средств на основе спутниковых систем глобальной навигации.

Большое внимание уделяется методам определения местонахождения транспортного средства с использованием спутниковых навигационных систем: дальномерному, квазидальномерному, доплеровскому. На основе перечисленных методов исследованы преимущества и недостатки алгоритмов контроля целостности и автоматического исключения обнаруженных неисправностей - RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring), AIME (Autonomous Integrity Monitoring Extrapolation), FDE (Fault Detection and Exclusion). Все эти алгоритмы предусматривают использование навигационных сигналов от спутников, которые передают избыточную информацию за счет использования большего, чем минимально необходимого, числа источников.

На основе проведенного исследования формулируется постановка задачи диссертационной работы.

### **1.1. Роль современных инфо-телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации в повышении эффективности и безопасности эксплуатации транспортных средств**

В данной работе интеллектуальные транспортные системы (ИТС) рассматриваются в качестве информационно-измерительных и управляющих комплексов, обеспечивающих решения задач мониторинга и адаптивного управления транспортными средствами. Целью подобных информационно-измерительных и управляющих комплексов является повышение эффективности и безопасности при организации дорожного движения. При этом основное отличие ИТС от других средств управления дорожным движением заключается в возможности высокоточного определения местоположения транспортного средства, выбора оптимального маршрута движения, с учетом имеющихся ограничений на скорость движения, условий на борту, состояния перевозимого груза и т.д.

Указанные преимущества достигаются за счет интеллектуального взаимодействия активных элементов транспортной системы с комплексом информационно-измерительных и управляющих средств, обеспечивающих повышение эффективности транспортных перевозок, снижение затрат и увеличение безопасности дорожного движения [21], [22].

Интеллектуальное поведение активных элементов транспортных систем, которые способны к изменению своего состояния, является следствием наличия у них нормативных моделей поведения и канала обратной связи, в котором обращается информация, поставляемая совокупностью измерительных средств и субъектов транспортной деятельности. Система осуществляет мониторинг каждого транспортного средства, что позволяет выявлять в реальном времени возможные отклонения от графика движения, и оперативно устранять ошибки, а также возможные злоупотребления водителей. Своевременно полученная информация позволяет повысить качество транспортного обслуживания за счет немедленного устранения выявленных нарушений [10].

С 80-х годов прошлого века значительная часть европейских стран, экономически развитых стран Азиатско-Тихоокеанского региона и особенно США планомерно и активно разрабатывают ИТС в качестве главного направления в реализации транспортной стратегии.

Приоритетное место в проведении исследований по ИТС безусловно занимает Япония, которая стала одним из лидеров в этой области. Уже в 1973 г. специалисты по управлению автомобильным транспортом приступили к реализации собственной системы, комплексно решающей основные задачи интеллектуального управления транспортными средствами. Эти разработки стали основой "Стратегии развития ИТС в Японии", принятой в 2003 г. обществом «ИТС Япония».

Министерство транспорта США приняло ряд национальных программ, на которых базируется развитие ИТС. В частности, Минтранс США разработало Федеральную программу, включающую пятилетний национальный план развития ИТС. Конгресс США законодательно утвердил эту программу, приняв в 1991 г. специальный закон ISTEA.

Стратегия развития ИТС США охватывает все уровни планирования, начиная с текущего и завершая стратегическим. С этой целью разработана система официальных программных документов, которые постоянно обновляются. Государство на законодательном уровне участвует в исследованиях, разработках и развертывании ИТС [88].

Министерство коммуникаций Китая создало в 1997 г. Национальный центр инжиниринга и технологий ИТС. Центр объединяет лаборатории более, чем 40 институтов различного профиля, ведущую роль среди которых играют Пекинский Университет Аэронавтики и Астронавтики и Пекинский Университет Почты и Телекоммуникаций.

Главным проектом в создании и развитии ERTICO - Европейской интеллектуальной транспортной системы стало развертывание GNSS ГАЛИЛЕО. Стратегической целью этой системы является координация взаимодействия организаций, занимающихся научными исследованиями, и инвесторов,



вкладываемых средства в создание рыночных продуктов. Программы исследований и разработок в области ИТС включены в число стратегических проектов Евросоюза [45].

На основе общих принципов, заложенных в перечисленные национальные программы ИТС, была предложена концепция российской интеллектуальной транспортной системы (РИТС). Предполагается, что формирование национальной платформы «ИТС – Россия» приведет к системному развитию рынка ИТС в России и к структурному взаимодействию с аналогичными результатами.

Положительный эффект от внедрения РИТС можно оценить как на уровне глобальных, макроэкономических показателей, так и на уровне микроэкономических показателей, относимых к корпоративным и даже единичным потребителям информационных сервисов.

Улучшение микроэкономических показателей субъектов транспортных систем связано с обеспечением следующих возможностей [12].

В первую очередь улучшение микроэкономических показателей связано с повышением качества транспортных услуг, которые в зависимости от сферы деятельности включают следующие положения [14]:

- разработка оптимальных маршрутов следования транспортных средств, которые должны учитывать текущее состояние дорожного движения, в том числе возникновение пробок и заторов на различных участках транспортной сети;
- обеспечение условий для строгого соблюдения графика движения, минимизации времени прибытия по вызову, что позволяет сократить время поездок пассажирами всех видов транспортных средств;
- обеспечение контроля за выполнением заказов на пассажирские перевозки, услуги по эксплуатации дорожно-транспортной сети, завоз товаров народного потребления, вывоз мусора и бытовых отходов, что способствует повышению оборачиваемости транспортных средств, снижению доли эксплуатационных издержек за счет контроля расхода топлива и снижения страховых рисков;

- предоставление возможности пассажирам сформировать наиболее рациональный маршрут перемещения из пункта отправления до точки прибытия с учетом оптимального сочетания графиков движения общественного транспорта с минимизацией времени ожидания в пунктах пересадки в зависимости от сложности дорожной ситуации и интенсивности транспортных потоков;
- управление транспортными потоками с целью повышения ритмичности грузоперевозок за счет увеличения пропускной способности транспортной сети города и формирования предупредительной информации о сложившейся дорожной ситуации.

Кроме того, ИТС способствует повышению эффективности работы транспортных средств за счет предоставления дополнительных услуг, включающих актуальную информацию об условиях транспортировки грузов и пассажиров (число пассажиров в салоне и т.п.), контроль текущего местонахождения груза и его состояние и т.д.[14], [19], [30].

Чтобы выполнить максимальный объем транспортных услуг при минимальных затратах, руководству транспортных предприятий требуются точные данные о работе автопарка. В частности, оптимизация маршрутной сети способствует минимизации холостого пробега, а организации планового ТО и ремонта автомобилей обеспечивает сбалансированную загрузку транспортных средств [63].

Немаловажную роль в повышении эффективности работы автотранспорта играет укрепление трудовой дисциплины водителей и других сотрудников автопредприятий. С этой целью на ИТС возлагается две важные функции:

- оперативное выявление нарушений, допущенных водителями;
- создание условий для предупреждения возможных нарушений.

Функция оперативного выявления нарушений предусматривает выполнение следующих мероприятий[1]:

- выявление фактов нарушения правил дорожного движения и умышленного злоупотребления, совершаемого в корыстных целях;

- оперативное, полное и достоверное выявление фактов хищения топлива, перевозки незапланированных грузов и неучтенные пассажиров, погрузка и разгрузка на неустановленных местах.

В свою очередь, создание условий для предупреждения возможных нарушений связано с реализацией следующих мероприятий [52]:

- доведение информации до водителей о различных по напряженности условиях дорожного движения;
- предупреждение о необходимости повышения внимания водителями исходя из текущего и краткосрочного прогноза условий дорожного движения;
- информирование руководства транспортных предприятий о выявленных фактах нарушения водителями правил дорожного движения и умышленного злоупотребления, совершаемого в корыстных целях;
- оперативное предоставление информации специальным службам при возникновении ДТП или о других опасных ситуаций на транспорте.

Таким образом функции, возлагаемые на ИТС, не только существенно повышают безопасность субъектов дорожного движения при возникновении опасных ситуаций на дорогах, но и позволяют оперативно оказывать помощь, обеспечивая своевременное прибытие к месту происшествия необходимых экстренных служб и техпомощи. Важную роль играют ИТС при организации перемещения спецтранспорта к месту назначения, а также при перевозке ценных и опасных грузов за счет активного управления элементами дорожной инфраструктуры [11], [12].

Следует также отметить роль ИТС при переходе к эксплуатации транспортных средств по фактическому техническому состоянию. С этой целью могут использоваться индивидуальные данные о состоянии каждого транспортного средства, включая данные о пробеге, расходе горюче-смазочных материалов, расходе моторесурса и т.д. Кроме того информация подобного рода позволяет оптимизировать структуру эксплуатационных расходов автопредприятия в плане объективного начисления зарплаты, учета и списания материальных ценностей, планирования перевозок и т.п. [13].

Несмотря на очевидные преимущества, в силу ряда обстоятельств, в России процесс внедрения компонентов и сегментов ИТС сталкивается с целым рядом проблем, к числу которых относятся:

- отсутствие системного подхода, в котором должны учитываться: региональная специфика, специфика дорожной сети, специфика космического и наземного сегментов транспортных систем передачи данных, а также особенности организации управления дорожным движением;
- недостаточная степень межпроектной унификации программно-аппаратных средств телематической платформы, что связано с низким уровнем стандартизации и кооперации производителей компонентов ИТС,
- низкий уровень интеграции данных из-за искусственных межсубъектных (в том числе, межведомственных) информационных барьеров;
- ориентация на использование зарубежной картографической основы, геоинформационных систем и сигналов Navstar/GPS;
- наличие монопольных устремлений производителей компонентов ИТС, низкий уровень стандартизации и кооперации;
- необеспеченность юридической значимости информационных транзакций, в том числе позволяющих использовать существующие сети базовых станций сотовой связи для передачи сигналов навигационных спутников;
- недостаточное внимание к вопросам оперативного анализа данных и прогнозированию.

В результате при разработке интегрального информационного обеспечения ИТС приходится сталкиваться с несовместимостью сервисов и программно-технических решений. Из-за ориентации массовых гражданских потребителей на сервисы и технические решения на базе зарубежных технологий, возникает угроза потери национальной промышленностью и IT-отраслью лидерства в создании пользовательского оборудования и программно-технических комплексов для ИТС [20], [89].

## **1.2. Анализ тенденций развития программно-аппаратных средств информационно-измерительных и управляющих комплексов для ИТС с учетом перспективных систем спутниковой навигации**

Современные тенденции развития программно-аппаратных средств информационно-измерительных и управляющих комплексов для ИТС базируются на широком внедрении перспективных систем спутниковой навигации. Такие системы обеспечивают эффективное функционирование устройств автомобильной навигации, предназначенных для планирования и организации поездок. При решении этих задач навигационная система позволяет определять текущие координаты транспортного средства на карте местности, рассчитывает оптимальный маршрут движения к требуемому пункту назначения и выдает водителю необходимую информацию, позволяющую следовать по оптимальному маршруту [23].

К главным функциям автомобильных навигационных систем относятся:

- автоматическое прокладывание маршрута (маршрутизация) по заданным точкам, в том числе с учетом «пробок» на дорогах;
- голосовое и визуальное сопровождение при движении по маршруту в виде подсказок о предстоящих поворотах и расстояниях до них.

Стандартная автомобильная навигационная система (АНС) состоит из внешнего GPS-модуля, устройства для приема данных по каналам радиовещательных, сотовых и пейджинговых сетей, цветного ЖК дисплея, датчика пройденного расстояния и гироскопа, а также цифровой навигационной карты на CD-ROM или DVD.

Компьютеры АНС используют процессоры типа ARM, Strong ARM, xScale или совместимые с ними. При этом тактовая частота процессора должна быть не менее 400 - 520 МГц. Требования к внутренней памяти предусматривают наличие 25 Мбайт ОЗУ и не менее 110 Мбайт флэш-памяти. Системное программное обеспечение базируется, как правило, на платформе Windows Mobile в двух ее разновидностях: Microsoft Windows Mobile 5.0/6.0/6.1 и Microsoft Windows CE 5.0.

Специальное программное обеспечение (СПО) осуществляет передачу, прием, маршрутизацию, обработку и хранение данных, а также реализует интерфейс пользователя, обеспечивает защиту от несанкционированного доступа и т.д. [87]. Программа, управляющая работой абонентского оборудования, анализирует информацию, полученную от приемников GPS и интерактивных каналов связи (включая мобильный интернет - GPRS, EDGE, 3G, WiFi и проч.). Полученная информация сохраняется в базе данных и в дальнейшем используется для маршрутизации и сопровождения транспортного средства по маршруту с учетом изменяющейся дорожной обстановки. Для обеспечения основных функций навигационной системы (выбора оптимального маршрута, оперативного отображения текущего положения транспортного средства на географической карте и сопровождения последнего при следовании по маршруту) в состав СПО входит автомобильная навигационная картографическая система. Выбор оптимального маршрута осуществляется навигационным компьютером с учетом существующей дорожной сети между исходной и конечной точкой пути следования и протяженностью отдельных ее участков.

В процессе прокладки маршрутов учитываются ограничения, налагаемые правилами дорожного движения, а также принятая стратегия объезда пробок и заторов. При уходе с маршрута предусматривается авторouting [86], [10].

Способ сопровождения транспортного средства при следовании по маршруту зависит от типа используемой навигационной системы – с голосовым сопровождением или с демонстрацией детальных навигационных карт. «Слепые» АНС считаются более безопасными, т.к. не отвлекают водителя от управления автомобилем. При этом, АНС выдает голосовые подсказки о ближайшем маневре и опережающие подсказки, содержащие информацию о последующих изменениях в маршруте движения. В картографических системах используются средства визуализации маршрута движения на встроенных мониторах с отображением текущего положения автомобиля и других необходимых атрибутов [87].

Мониторы АНС имеют жидкокристаллический экран с активной 3,5 или 7 дюймовой матрицей (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Расположение монитора АНС на приборной панели автомобиля

На монитор выводится базовая карта местности в вариантах «2D-проекция» и «3D-панорама» с нанесенными на нее автодорогами. Помимо карты, на экран монитора может выводиться много различной вспомогательной информации, в том числе: расстояние и характер предстоящего маневра, расчетное время прибытия в точку финиша, расстояние до точки финиша, скорость движения, состояние дорожной обстановки (интенсивность затора или скорость движения в пробке, ее протяженность) и т.д. Как правило, мониторы АНС имеют такие опции как режим «день/ночь» - с автоматическим переключением по времени, автомасштабирование, авторегулировка плотности отображения объектов на карте.

GPS приемники, которые находят применение в АНС, сильно различаются по своим функциональным возможностям и характеристикам. Все их многообразие можно разделить по следующим категориям: переносные и стационарные, с дисплеем и без дисплея. Переносные GPS приемники без дисплея работают в комплекте с навигационным компьютером в качестве его внешнего GPS-модуля (рисунок 1.2). Такие комплекты легко монтируются и имеют более широкие возможности, чем автономные приемники с дисплеем [75].

Переносные GPS приемники с монохромным или цветным дисплеем различаются по длительности автономной работы, объему памяти и размерам (рисунок 1.3).



Рисунок 1.2 – Переносные GPS приемники без дисплея: а, б - беспроводное соединение с компьютером (через Bluetooth), в - соединение через провод



Рисунок 1.3 – Переносные GPS приемники: а – цветной дисплей; б – монохромный дисплей

Загрузка картографической информации в такие приемники производится из компьютера под управлением соответствующего драйвера. Возможность голосовых подсказок и маршрутизация в этих устройствах отсутствует. Некоторые из них имеют функцию запоминания пройденного пути с отображением на дисплее [2].

Стационарные GPS приемники устанавливаются в транспортном средстве и позволяют определять его местоположение, скорость и направление движения, а также получать информацию о дорожной обстановке. Эти устройства, кроме позиционирования, позволяют выбрать оптимальный маршрут с учетом загруженности трасс. Оповещают голосом и визуально (на экране дисплея) о предстоящих поворотах и расстоянии до них. В случае пропуска поворота или объекта маршрут автоматически корректируется (рисунок 1.4).





Рисунок 1.4 – Стационарная автомобильная навигационная система

Наряду с приемниками GPS, АНС комплектуется датчиками пройденного пути и направления движения. Эти датчики используются для определения текущих координат транспортного средства в тех случаях, когда спутниковая навигация оказывается недоступной. При этом следует учесть, что навигационное счисление дает низкую точность из-за целого ряда погрешностей. В результате координаты, определенные методом навигационного счисления, приходится корректировать каждые 10-15 километров. Погрешность датчика пройденного пути обусловлена систематической ошибкой, которая содержится в сигналах с датчиков скорости вращения колес [75].

Для определения направления движения транспортное средство оснащено датчиком азимута, датчиками скорости вращения колес, гироскопами.

Геомагнитный датчик азимута имеет систематическую погрешность из-за наличия паразитных магнитных полей. При определении направления движения автомобиля с помощью датчиков скорости вращения передних колес, направление движения определяется как разность расстояний, проходимых соответствующими колесами. Поскольку датчики скорости вращения колес нечувствительны к паразитным магнитным полям, то современные датчики направления движения выпускаются в интегральном исполнении, объединяющем датчики азимута и скорости вращения колес.

Для определения угла поворота может использоваться интегрирующий гироскоп, на вход которого подается угловая скорость автомобиля. Однако и эти устройства обладают собственными специфическими погрешностями.

Системы передачи данных. Для получения оперативной информации о дорожной обстановке навигационная система оснащается соответствующими

устройствами приема данных. При использовании радиовещательной системы RDS (Radio Data System) на ультракоротких волнах вместе со звуковым сигналом передается небольшое количество цифровой информации. Гораздо более распространенным является использование информационно-телекоммуникационных технологий: сотовой связи GSM, мобильного интернета GPRS/EDGE/3G/WiFi/WiMax и пейджинговых сетей. В качестве источников информации о загруженности дорог используется сеть специальных датчиков, установленных вдоль трасс, видеокамеры, сообщения от дорожных служб и участников дорожного движения. Полученные сведения стекаются в центры сбора информации, откуда, после обработки, выгружаются в Интернет или в закодированном виде передаются потребителям [24].

Цифровые карты (ЦК) - это закодированные в электронном виде модели местностей. Они загружаются в компьютер АНС и работают совместно с ним. ЦК изготавливаются на основе топографических карт городов и территорий, а также аэрофотоснимков. Без них на дисплее навигационной системы будут отображаться только географические координаты местоположения (широта и долгота) и траектория пройденного пути без визуальной привязки к привычному картографическому изображению местности. Только при наличии цифровой карты в памяти навигационной системы появляется возможность отображать на дисплее участки местности (в различных масштабах), находить нужные объекты, рассчитывать и прокладывать оптимальные маршруты и определять названия улиц, по которым движется автомобиль. Используемые с этой целью электронные карты предоставляют картографическую информацию либо в матричном, либо в векторном формате. Матричный формат задает значения декартовых координат каждому фрагменту карты, вплоть до отдельного пикселя. В свою очередь, векторный формат дорожной сети описывает ее участки последовательностью отрезков прямых линий, которые задаются своим аналитическим описанием. Узлы, которые отображают пересечения дорог, задаются своими координатами - долготой и широтой. Если дорога (улица) не прямая, в точке излома также

помещается узел. Это позволяет описывать сложную конфигурацию дорожной сети совокупностью векторов и узлов.

Основным элементом навигационных карт также является дорожная и придорожная инфраструктура с указанием классов дорог, дорожных развязок, знаков дорожного движения, автозаправочных станций, сервисов и других объектов. Для качественной навигации и информативности картоосновы большое значение имеет актуализация атрибутов дорожного графа, дополнительные базы адресов и объектов POI.

Автомобильные навигационные системы служат основой для создания интеллектуальных транспортных систем. В свою очередь, автомобильные навигационные системы базируются на глобальных системах спутниковой навигации [57].

### **Российская ГЛОНАСС**

Разработка российского аналога глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) началась в 1978 г. Полный состав орбитальной группировки, включающей 24 спутника, которые распределены между 3-мя орбитальными плоскостями, был развернут в 1995 г.[49].

Спутниковая система ГЛОНАСС позволяет осуществлять глобальную навигацию сухопутных, морских, воздушных, а также низкоорбитальных космических подвижных объектов в оперативном режиме [48].

С этой целью в состав системы ГЛОНАСС входят следующие сегменты: орбитальная группировка навигационных искусственных спутников Земли составляет космический сегмент, наземный комплекс управления, включая совокупность наземных корректирующих станций, образует сегмент управления, сегмент навигационной аппаратуры пользователей объединяет бортовые приемники спутниковой навигации.

Для обеспечения глобального покрытия всей поверхности Земли 24 спутника равномерно распределены в 3-х орбитальных плоскостях. Абсолютная долгота восходящего узла каждой орбитальной плоскости составляет  $120^\circ$ . В

зависимости от положения относительно направления вращения Земли орбитальные плоскости имеют условные номера 1, 2 и 3.

Для обеспечения высокой оперативной готовности в состав орбитальной группировки должны входить 27 спутников GLONASS-K. Основные характеристики спутников ГЛОНАСС представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Характеристики спутников ГЛОНАСС

Тип спутника	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K
Первый запуск	1982	2003	2007
Дата вывода из эксплуатации	2006	2013	2022
Число сигналов для гражданского использования	1	2	3
Масса, кг	1415	1415	750
Мощность батарей, Вт	1000	1600	1270
Срок активного существования, лет	3-4.5	7.5	10-12
Точность место определения с вероятностью 95%	60 м	30 м	5-8 м

ГЛОНАСС формирует радионавигационное поле, позволяющее выполнять целый ряд дополнительных функций [49]:

- обеспечение дифференциального режима навигации за счет применения стационарных наземных корректирующих станций и НИСЗ, в результате чего достигается высокоточная навигация наземных подвижных объектов в локальной области;
- между наземными объектами формируется взаимная геодезическая "привязка", гарантирующая высокую точность их позиционирования;
- синхронизация атомных эталонов частоты КА, что обеспечивает взаимную увязку шкал времени на удаленных наземных объектах;
- обеспечение автономной навигации не только наземных ТС, но и космических объектов, расположенных на низких и средних орбитах;
- в случае достаточно протяженных объектов, снабженных разнесенными антеннами, с помощью навигационных радиосигналов достигается их

пространственная ориентации за счет радиоинтерферометрических методов измерений.

### **Глобальная спутниковая система Navstar (GPS, США)**

Глобальная спутниковая система (GPS) предназначена для высокоточного определения трех координат места, составляющих вектора скорости и времени различных подвижных объектов.

Также как и российская система, спутниковая группировка GPS включает 24 космических аппарата. Однако в отличие от системы ГЛОНАСС навигационные спутники расположены в 6 орбитальных плоскостях. Наклон этих орбитальных плоскостей относительно плоскости Геостационарной орбиты (ГСО) составляет  $64.5^\circ$ . Надежность функционирования навигационной системы обеспечивается за счет использования резервных спутников. Передача навигационных данных осуществляется по двух каналам – каналу селективного доступа (С/А– канал) и прецизионному каналу (Р– канал). Первый из этих каналов обеспечивает точность позиционирования не хуже 20 м, второй зашифрованный канал позволяет определять местоположение потребителя с погрешностью не превышающей 1 м.

Первый GPS спутник был запущен в феврале 1978 г., начиная с GPS-I и далее 12 спутников GPS-IIR, 16 - GPS-II/IIA и 2 - GPS-IIR-M. Параметры GPS постепенно улучшались, что видно из таблицы 1.2.

Более совершенными являются навигационные группировки третьего поколения, к числу которых относятся разработанные крупнейшими мировыми производителями военной техники Lockheed Martin и Boeing, системы GPS-III [49].

Преимущества GPS-III по сравнению с системами предыдущих поколений заключается в следующем:

- повышен срок эксплуатации спутников до 12-18 лет;
- существенно на 100-120 миллионов долларов снижена стоимость каждого КА;
- сокращаются расходы на запуск спутников, поскольку одной ракетой могут быть запущены два и более спутников;

– большое внимание уделено борьбе с существующими помехами, в том числе из-за внешних воздействий, за счет усиления интенсивности сигнала на 20 дБ;

– в режиме селективного доступа точность позиционирования может достигнуть 1 м без использования дифференциального режима.

Таблица 1.2. Параметры спутников GPS

Тип спутника	GPS-II	GPS-IIA	GPS-IIR	GPS-IIRM	GPS-III
Масса, кг	885	1500	2000	2000	2170
Срок жизни	7.5	7.5	10	10	15
Бортовое время	Cs	Cs	Rb	Rb	Rb & Cs
Меж спутниковая связь	Нет	Да	Да	Да	Да
Автономная работа, дней	14	180	180	180	Более 60
Антирадиационная защита	Нет	Нет	Да	Да	Да
Антенна	-	-	Улучшенная	Улучшенная	Улучшенная
Возможность настройки на орбите	Слабая	Слабая	Средняя	Сильная	Повышенная
Орбитальная точность					
Навигационный сигнал	L1:C/A+P L2:P	L1:C/A+P L2:P	L1:C/A+P L2:P	L1:C/A+P+M L2:C/A+P+M	L1:C/A+P+M L2:C/A+P+M L5:C
Мощность бортового передатчика	Слабая	Слабая	Средняя	Сильная	Повышенная

Предприняты меры на увеличение внутренних возможностей аппаратуры спутников системы Navstar, а также средств наземного сегмента управления для обеспечения целостности навигационных сигналов.

### Европейская система Galileo

Проект Galileo разрабатывается по инициативе ЕС и Европейского космического агентства (ЕКА). Он предусматривает создание и обеспечение функционирования глобального СРНС под гражданским управлением. Информация, поступающая от системы Galileo, передается с помощью 10 навигационных сигналов в диапазоне частот E5a и E5b (1164-1215 МГц), E6(1260-1300 МГц) и E2-L1-E1 (1559-1592 МГц). Эти диапазоны специально выделены для Radio Navigation Satellite Service. Для унификации систем передачи и приема

сигналов все спутники системы Galileo применяют технику коллективного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), что позволяет им совместно использовать одну номинальную частоту. В таблице 1.3 приводятся характеристики сигналов Galileo.

Таблица 1.3. Характеристики сигналов Galileo

Наименование сигнала	Несущая частота, МГц	Мощность, дБВт	Сигнал/спектральная плотность шума, дБГц	Модуляция	Скорость передачи данных (символ/с)	Полоса частот, МГц
E5a (L5)	1176,45	-155	50	QPSK (10)	50	24
E5b	1207,14	-155	50	QPSK (10)	250	24
E6	1278,75	-155	50	BPSK (5)	1000	40
E1, E2 (L1)	1575,42	-155	50	BOC (2,2)	250	32

Сигналы системы GALILEO используют правую круговую поляризацию, что обеспечивает следующие возможности:

- для массовых потребителей доступная точность определения местоположения не ниже, чем 9 м;
- для специальных потребителей точность определения местоположения достигает 1 м;
- услуги позиционирования доступны для всех видов служб спасения и для транспорта различного назначения;
- экстренные службы, такие как полиция, пожарные, скорая помощь, для военных целей и для других служб жизнеобеспечения получают дополнительные преимущества по поиску и спасению пострадавших по сравнению со спутниковой системой COSPAS-SARSAT.

### **Система спутниковой навигации Республики Индия**

По решению Правительства Индии на создание системы спутниковой навигационной системы было выделено 14.2 миллиарда рупий (приблизительно 236 млн. долларов). Особенностью одобренного 9 Мая 2006 г., проекта развертывания индийской навигационной спутниковой системы является ее региональный характер (IRNSS). В связи с этим группировка IRNSS будет состоять из семи спутников, расположенных на геосинхронных орбитах.

Региональный характер IRNSS обусловлен тем, что спутники этой группировки будут иметь радиовидимость только с территории Индии.

Ответственной за развертывание IRNSS является Государственная компания ISRO, которая помимо орбитальной группировки обеспечивает функционирование земного сегмента, включающего станцию мониторинга, резервную станцию, а также станцию контроля и управления. Следуя стратегии Индийского правительства на развитие национальной индустрии навигационные приемники, которые будут принимать сигналы IRNSS, так же поручено разрабатывать и изготавливать индийским компаниям.

### **Китайская Навигационная Спутниковая Система Бэйдоу (Compass)**

Началом коммерческой эксплуатации системы Бэйдоу считается 27 декабря 2012 г. Для выполнения функций региональной системы позиционирования первоначально было задействовано 16 спутников. Полностью развернутая глобальная навигационная система, ввод которой в эксплуатацию запланирован на 2020 г., будет содержать 35 космических аппаратов. Конфигурация космической группировки системы Бэйдоу отличается от принятых в России и США. Она предусматривает геостационарный сегмент в составе 5 спутников, геосинхронный сегмент, включающий 3 спутника на наклонной орбите и базовый сегмент из 27 спутников на средней околоземной орбите.

Следует отметить, что развертывание системы Бэйдоу прошло уже несколько этапов - Бэйдоу-1, Бэйдоу-2, Бэйдоу-3. При этом космические аппараты, составляющие различные сегменты орбитальной группировки, относятся к аппаратам различных поколений.

Спутники геостационарного сегмента являются аппаратами типа Beidou-3G, созданными на базе китайской космической платформы DFH-3B. Их орбитальные позиции составляют 58,5°, 80°, 110,5°, 140° и 160° восточной долготы. Масса каждого спутника составляет около 4600 кг.

В свою очередь спутники геосинхронного сегмента относятся к классу космических аппаратов Beidou-3I, которые также были созданы на основе платформы DFH-3B, но характеризуется более низкой мощностью передаваемых



сигналов и вследствие этого меньшим весом, который составляет около 4200 кг. Геосинхронная орбита этого космического сегмента имеет наклонение 55°.

Спутники базового сегмента типа Beidou-3M размещены на средней околоземной орбите, высота которой составляет около 21500 км, а наклонение - 55°. При разработке космических аппаратов этого типа была использована новая, более компактная, космическая платформа, что позволило снизить стартовую массу спутников до 1014 кг. Предполагается, что полностью развернутая орбитальная группировка базового сегмента системы Бэйдоу будет располагаться на 3 орбитальных плоскостях, включающих по 9 спутников в каждой.

Предполагается также, что вывод спутников на орбиту будет осуществляться как с помощью существующих ракет-носителей Чанчжэн-3С и Чанчжэн-3В, так и с помощью перспективной ракеты-носителя Чанчжэн-5, способной одновременно выводить на орбиту 4 спутника.

В 2015 году на орбиту были выведены спутники нового поколения: BDS M1-S и BDS M2-S - на среднюю околоземную орбиту, а также BDS I1-S и BDS I2-S - на наклонную геосинхронную орбиту.

Развертыванию системы Бэйдоу мешает неурегулированность вопросов, связанных с используемыми частотными диапазонами, поскольку китайская система работает на частотах 1559,052 – 1591,788 МГц, что препятствует совместимости сигналов системы Compass с сигналами PRS системы Galileo.

### **Японская Quasi-Zenith навигационная система (QZSS)**

В состав орбитальной группировки японской региональной спутниковой системы QZSS входит четыре спутника. В связи с этим хотя данная система создавалась для расширения возможности GPS, она имеет ограниченные навигационные возможности. Тем не менее система QZSS выполняет функции региональной спутниковой системы, которая способна предоставлять комплекс услуг мобильной связи (в том числе передача аудио и видеоданных), а также обеспечивать позиционирование ТС. Запуск спутников производился в период с 2010 по 2017 год. В 2018 году было организовано совместное функционирование

всех четырех спутников. К 2024 году спутниковая группировка может быть расширена до 7 спутников.

Космический сегмент системы QZSS позволяет улучшить работу системы GPS за счет спутников, расположенных на эллиптических орбитах в зоне азиатских потребителей. Такая конфигурация космического сегмента позволяет учитывать специфику потребителей, расположенных в гористой местности или в городах с высокими зданиями, поскольку спутники находятся более 12 часов в сутки с возвышением в  $70^\circ$ . Тем самым система QZSS относится к классу «квази-зенитных», поскольку ее спутники постоянно находятся вблизи зенита.

Повышение точности и надёжности работы навигационных систем, работающих совместно с QZSS, достигается за счет использования коррекционных данных, передаваемых по каналам L1-SAIF и LEX. Надёжность повышается за счет передачи эфемеридных данных о состоянии спутников, а также данных, улучшающих поиск спутников GPS.

Кроме того, система QZSS позволяет повысить доступность GPS-сигналов, поскольку сигналы, передаваемые со спутников QZSS, совместимы с модернизированными сигналами GPS. В результате обеспечивается возможность взаимодействия этих систем без изменения конструкции приёмников.

Точность работы системы QZSS определяется сетью наземных станций. Наземный сегмент QZSS включает контрольные станции трех типов.

Главная станция управления анализирует данные телеметрии, которые она получает со всех станций наблюдения. На основе проведенного анализа формируются навигационные сообщения, которые передаются на спутники с помощью станций контроля слежения и связи с целью устранения расхождения времени бортовых атомных часов и элементов орбиты спутников от расчётных.

Станции наблюдения получают сигналы от спутников и передают их в центр управления. Сеть этих станций расположена таким образом, чтобы обеспечить максимальный географический охват для мониторинга QZSS-спутников.

Третья сеть объединяет станции контроля слежения и связи. Они служат для контроля состояния аппаратуры спутников и посылают при необходимости точные метки времени от наземных атомных часов, а также навигационные сообщения, сформированные главной станцией управления.

Представленный обзор тенденций в области разработки и развертывания глобальных систем спутниковой навигации свидетельствует о том, что эти системы станут в ближайшее время основным средством контроля и мониторинга транспортных потоков.

### **1.3. Принципы обеспечения метрологических характеристик информационно-измерительных систем позиционирования транспортных средств на базе спутниковых навигационных систем**

При решении задач обеспечения метрологических характеристик информационно-измерительных систем позиционирования транспортных средств с использованием глобальных спутниковых систем приходится ориентироваться на те методы позиционирования, которые были заложены при создании соответствующих орбитальных группировок. К числу таких методов относятся: дальномерный, квазидальномерный и доплеровский методы. Суть дальномерного метода заключается в измерении задержки сигнала в атмосфере, которая характеризует зависимость дальности между НИСЗ и потребителями. Если бортовая аппаратура НИСЗ и потребителей содержит высокостабильные АСЧ, то для нахождения пространственных координат потребителя достаточно сигналов от трех спутников. Другой вариант использования дальномерного метода предусматривает работу аппаратуры потребителя в активном режиме «запрос-ответ» для ретрансляции навигационного сигнала [62].

Квазидальномерный метод не требует применения высокостабильных АСЧ, поскольку наряду с координатами транспортного средства в качестве искомой неизвестной величины вычисляется сдвиг по времени между часами потребителя

и шкалой единого системного времени. В связи с этим информация о квазидальностях должна поступать от четырех НИСЗ. Соответственно навигационная задача предусматривает в этом случае решение системы из четырех уравнений относительно квазидальностей.

Доплеровский метод основывается на измерении сдвига частоты принимаемого сигнала с последующим его интегрированием на некотором интервале времени. В результате можно определить число длин волн, характеризующее изменение расстояния до спутника за заданный интервал времени. Указанное обстоятельство обуславливает эквивалентность этого метода разностно-дальномерному и аналогично последнему требует для нахождения координат потребителя четырех НИСЗ.

Поскольку основной задачей метрологического обеспечения любой информационно-измерительной системы является повышение точности измерений, то рассмотрим основные факторы, определяющие погрешность навигационных измерений. К числу таких факторов относятся: геометрия созвездия, определяющая взаимное расположение навигационных спутников в пространстве, а также их ориентацию относительно потребителя, изменение скорости распространения радиоволн при их прохождении в ионосфере и тропосфере, специфические погрешности, связанные с многолучевым распространением и низким уровнем навигационных сигналов, а также с несовершенством аппаратуры потребителя.

Следует также отметить, что выбранный способ измерения координат транспортного средства оказывает существенные влияния на точность определения местоположения.

Как было отмечено ранее, беззапросный квазидальномерный способ измерения накладывает жесткие требования к точности поддержания шкал времени АСЧ различных КА. Несмотря на использование самых современных эталонов частот погрешность, связанная со шкалами времени, может достигать 0,6 м [67].

Говоря о погрешностях, возникающих в аппаратуре потребителя из-за низкого уровня навигационных сигналов, следует отметить, что соотношение уровней сигнал/шум приемника оказывает существенное влияние на погрешность вычисления псевдодальности. Вследствие этого возникает ошибка сравнения сигнала, принятого от КА, и опорного сигнала. Эта ошибка вносит свой вклад в погрешность определения координат, которая может достигать 1,2 м.

Специфическая погрешность, свойственная только спутниковым системам, заключается в многолучевом распространении сигнала. Навигационные сигналы спутника, отраженные от поверхности земли или других поверхностей могут накладываться на сигналы, поступающие непосредственно от спутника. Поскольку поляризация отраженного сигнала имеет противоположную фазу, то вследствие эффекты интерференции происходит взаимное подавление полезного и отраженного сигналов. В результате соотношение уровней сигнал/шум уменьшается и это приводит к дополнительной ошибке определения координат. Величина этой ошибки зависит от конкретных условий отражения навигационного сигнала, но в среднем она может составлять около 2 м.

При оценке атмосферных погрешностей нужно различать две характерные области, имеющие разную природу воздействия на навигационный сигнал. Этими областями являются ионосфера и тропосфера. Задержка сигнала на высотах в пределах 50 – 500 км связана с ионизацией атмосферы. Изменение скорости распространения сигнала спутника обусловлено, как это следует из геометрической оптики, наличием коэффициента преломления из-за присутствия в этой области свободных электронов. Задержка сигнала пропорциональна квадрату частоты радиосигнала и зависит от концентрации электронов. Поскольку в настоящее время известны модели распределения заряженных частиц в ионосфере, то предлагается достаточно эффективный метод компенсации погрешности определения псевдодальности. С этой целью используются двухчастотные приемники, которые получают навигационные данные на частотах L1 и L2. Несмотря на то, что двухчастотные измерения компенсируют атмосферные погрешности первого порядка, величина некомпенсированной

погрешности обуславливает ошибку при определении псевдодальности, которая может достигать 10 м.

Поскольку тропосфера является самым нижним, а следовательно самым плотным, слоем атмосферы, то изменение скорости прохождения радиосигналов приводит к значительным тропосферным погрешностям. Кроме того состояние атмосферы на высотах до 8 – 13 км зависит от времени года и таких метеопараметров как давление, температура, влажность. В связи с этим важную роль в компенсации тропосферных задержек играет адекватная математическая модель этого слоя атмосферы. Следует также учесть, что задержка сигнала зависит от пути, пройденного им в тропосфере, а значит от расположения спутника относительно поверхности земли. Поправочные коэффициенты, позволяющие в определенной мере скомпенсировать тропосферную погрешность, содержатся в эфемеридных данных спутниковых сигналов. Тем не менее, тропосферные ошибки измерения псевдодальностей составляют около 1 м.

Значительный вклад в суммарную ошибку позиционирования вносит геометрия взаимного расположение спутников в рабочем созвездии, а также положение транспортного средства относительно спутников [49]. Для оценки геометрического фактора используется специальная величина – PDOP (Position Dilution Of Precision). Эта величина используется в качестве весового коэффициента, умножение которого на рассмотренные ранее ошибки позволяет получить величину результирующей ошибки. Установлено, что величина коэффициента геометрического ухудшения точности обратно пропорциональна объему пространственной фигуры, вершинами которой служат навигационные спутники и транспортное средство. Таким образом, чем хуже геометрия созвездия НИСЗ, тем больше будет величина PDOP и, следовательно, тем больше величина суммарной ошибки. Приемлемым считается значение PDOP в пределах от 4 до 6 [59].

Таким образом, метрологические характеристики информационно-измерительных систем позиционирования транспортных средств на базе

спутниковых навигационных систем связаны в первую очередь с показателями точности позиционирования [68], [71].

Точность позиционирования транспортного средства навигационной системой оценивается ее способностью удерживать транспортное средство в каждой точке установленной схемы движения в пределах суммарной погрешности (TSE– TotalSystemError) с вероятностью 0.95, и при движении по маршруту – в пределах внешних границ навигационных характеристик с вероятностью не менее чем  $10^{-7}$  на час движения.

Также к параметрам, определяющим метрологические характеристики информационно-измерительных систем позиционирования транспортных средств, относятся невязки, которые рассчитываются на основе обработки избыточных навигационных измерений, и статистические оценки, которые получаются при обработке информации о псевдодальностях от транспортного средства до соответствующего НИСЗ [68].

Для обеспечения требуемых метрологических характеристик требуется исследовать поведение погрешностей, которые содержатся в измеренных с помощью аппаратуры потребителя значениях координат и скорости движения транспортного средства. Такого рода исследования предполагают выполнение следующих расчетов:

- для временного ряда измеренных значений  $X^{\text{ИЗМ}}(t)$  на заданном интервале  $[0; t_k]$  необходимо найти аппроксимирующее аналитическое выражение  $X(t)$ ;

- вычисление совокупности невязок  $\Delta_i = X(t_i) - X^{\text{ИЗМ}}(t_i)$  для  $t_i \in [0; t_k]$ ;

- расчет величины среднеквадратического отклонения для найденной

совокупности невязок на заданном интервале  $[0; t_k]$ :  $\sigma_k = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$ ;

- вычисление меры согласия, которая позволяет установить, что наблюдаемые отклонения в точности объясняются лишь случайными

колебаниями в выборках:  $\theta_k = \frac{\sigma_{r+1}^2}{\sigma_k^2}$ ;

- мера согласия  $\theta_k$  позволяет оценить вероятность того, что расхождения измеренных данных вследствие случайных причин окажется меньше допустимой величины  $\theta_{\text{доп}}$ ; с этой целью обычно используются критерии  $\lambda$ ,  $\chi^2 \cdot \omega^2$ ; если мера согласия превышает соответствующее пограничное значение  $\theta_k > \theta_{\text{доп}}$ , то такие значения исключаются из обработки;
- оценка тренда меры согласия позволяет спрогнозировать ожидаемое время выхода за порог точности.

Алгоритм оценки качества функционирования навигационной системы предусматривает использование случайной величины  $\theta_k^m = \frac{(\sigma_{r+1}^m)^2}{\sigma_k^2}$ , для которой принято распределение  $\chi^2$ . Исходное допустимое значение этой величины выбирается из условия, что вероятность нарушения требуемой точности позиционирования не превысит  $p = 10^{-3}$ .

Указанный алгоритм оценки качества анализирует точность определения всех координат и составляющих скорости транспортного средства. Если хотя бы для одного из  $m$  анализируемых параметров выполняется неравенство  $\sigma_k^2 \geq (\sigma_{r+1}^m)^2$ , то информация от соответствующего спутника исключается из дальнейших расчетов. В этом случае формируется признак непригодности результата решения навигационной задачи и принимается решение о реконфигурации используемого созвездия НИСЗ. При этом для новой конфигурации созвездия НИСЗ в качестве исходной величины  $(\sigma_{r+1}^m)^2$  принимается последнее вычисленное значение этого параметра. При последующих изменениях конфигурации созвездий НИСЗ  $\theta_k^m$  находится из условия  $\max \{ \theta_k^m \in ((\theta_k^m)_l \cup (\theta_k^m)_{l+1}) \}$ , где  $l$  - номер созвездия.

Следующим этапом оценки качества функционирования навигационной системы служит анализ принадлежности задействованного созвездия НИСЗ к



заданному уровню целостности. С этой целью диапазон точности позиционирования разбивают на три интервала:

$$d1 = [0 \div 2]\sigma_{\text{доп}}; \quad d2 = [2 \div 4]\sigma_{\text{доп}}; \quad d3 = [4 \div 6]\sigma_{\text{доп}},$$

где  $\sigma_{\text{доп}}$  – допустимая величина среднеквадратического отклонения, которая определяет заданные границы точности.

Применительно к каждому из этих интервалов находятся такие граничные значения среднеквадратических отклонений, которые обеспечивают их нахождение в соответствующем диапазоне с требуемой вероятностью, не превышая установленной вероятности нарушения заданной точности.

Важной характеристикой измеренного навигационного параметра  $X^{\text{изм}}$  служит величина доверительного интервала. При оценке доверительного интервала принимается допущение о нормальном распределении случайной величины. С учетом отмеченного обстоятельства величина доверительного интервала задается соотношением:

$$I_{\beta} = \{m - t_{\beta}\sigma_{\text{доп}}; m + t_{\beta}\sigma_{\text{доп}}\} \quad (1.1)$$

где  $\beta$  – доверительная вероятность,  $t_{\beta} = \arg \Phi \left( \frac{1 + \beta}{2} \right)$  – квантиль нормального распределения  $\Phi(x)$ .

В случае, когда используется гипотеза о распределении  $\chi^2$ , для доверительного интервала  $I_{\beta}$  справедливо соотношение

$$I_{\beta} = \left\{ \delta_{\text{доп}}^2 \frac{(n-1)}{\chi_{1/2a}^2}; \delta_{\text{доп}}^2 \frac{(n-1)}{\chi_{1-1/2a}^2} \right\} \quad (1.2)$$

где  $(n-1)$  – число степеней свободы;  $\chi^2(\lambda, n-1)$ ,  $\lambda = 1 - \beta$  – параметр распределения.

Завершающей операцией алгоритма оценки качества функционирования навигационной системы является оценка ожидаемого времени выхода за порог точности  $\Delta$ . Такая оценка осуществляется на основе построения области допустимой точности в предположении о постоянном значении величины среднеквадратического отклонения на исследуемом интервале:

$$t_k^{\text{прог}} = (\Delta - 6\sigma_k) / 6\sigma_{\text{СК}} \quad (1.3)$$

где  $\sigma_k$  и  $\sigma_{\text{СК}}$  – соответственно значения среднеквадратических отклонений для координат и скоростей.

Если ожидаемое время выхода за порог точности превышает величину заданного интервала  $[0; t_k]$ -  $t_k^{\text{прог}} > t_k$ , то это означает, что навигационная информация оказывается непригодной.

В настоящее время описанный подход к оценке качества функционирования навигационной системы, включая контроль целостности и автоматическое исключение обнаруженных ошибок, реализуется в трех стандартных модификациях – RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring), AIME (Autonomous Integrity Monitoring Extrapolation) и FDE (Fault Detection and Exclusion) [70].

Первый из перечисленных алгоритмов – RAIM – обладает следующими возможностями:

1. Создание информационного сообщения о факте обнаружения отказа. С этой целью проводится анализ информации, поступающей от космического сегмента. В состав этой информации входят значения псевдодальностей от спутников до потребителей, эфемеридные данные о координатах спутников и другие необходимые показатели, включая энергетические потенциалы передаваемых сигналов. На основе проведенного анализа вычисляются невязки, которые являются параметрами соответствия для оценки влияния избыточных измерений и остатков, возникающих в процессе статистического анализа входной информации. Полученные данные позволяют численно оценить соответствие полученных данных их статистическим характеристикам и сформировать сигнал ошибки в случае, если параметр соответствия выходит за допустимые пределы. В случае выявления ошибки алгоритм приступает к идентификации места ее возникновения и выбору способа ее устранения.

2. Идентификация ошибки предусматривает локализацию отказа с тем, чтобы принять решение о возможности продолжать использовать данные, поступающие от соответствующего навигационного спутника, а в случае

невозможности использовать прежнее созвездие принять меры по его реконфигурации.

3. В основе решения о реконфигурации созвездия лежит информация об уровне отказа. При этом различают отказы трех уровней. В случае отказа первого уровня имеется возможность скорректировать ошибки в позиционных и скоростных координатах. В этом случае алгоритм просто исключает данные, содержащие ошибку. Отказ второго уровня приводит к тому, что корректировка исходных данных невозможна, но целостность навигационных сообщений сохраняется при исключении неисправного спутника. В этой ситуации алгоритм формирует команду на прекращение использования информации, поступающей по каналу, который соответствует исключенному спутнику. Наконец, при отказе третьего уровня отсутствует возможность исключить отказавший спутник. В этом случае алгоритм формирует команду о реконфигурации созвездия.

4. Проведение реконфигурации созвездия НИСЗ или навигационной аппаратуры.

Алгоритм АИМЕ (Autonomous Integrity Monitoring Extrapolation) реализует метод экстраполяции автономного контроля целостности и предполагает дополнительное использование инерциальной системы навигации и измерителя высоты. Этот алгоритм выполняет следующие операции [65].

1. Определение пригодности или непригодности информации рекомендованного созвездия по сравнению с данными о местонахождении и скорости, поступающими от автономных и внешних источников.

2. Определение пригодности или непригодности информации рекомендованного созвездия на основе анализа скорости нарастания текущих ошибок и вероятности превышения ими заданного уровня за допустимое время.

3. Исключение из обработки непригодной информации.

4. Выдача сигнала предупреждения о превышении границ требуемых навигационных характеристик.

5. Выдача сигнала предупреждения о невозможности сформировать решение, пригодное для навигации.

6. Обеспечение реконфигурации созвездия НИСЗ, навигационной аппаратуры или способа обработки данных для достоверного определения навигационных характеристик.

Структурная схема, иллюстрирующая основные операции в рамках функционирования алгоритма АИМЕ в составе бортовой навигационной аппаратуры, представлена на рисунке 1.4.

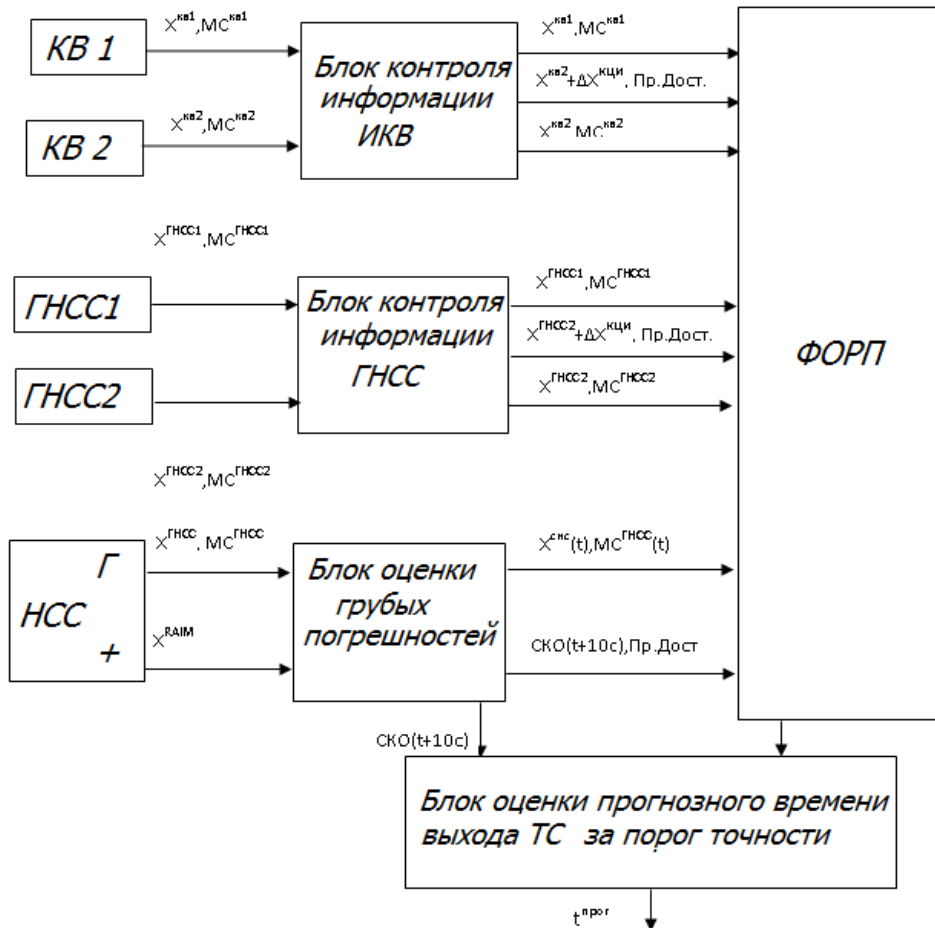


Рисунок 1.5 – Структурная схема алгоритма АИМЕ в составе бортовой навигационной аппаратуры

На данной схеме приняты следующие обозначения:

- $X^{KB1}, X^{KB2}$  – набор сигналов на выходе систем KV1 и KV2;
- $MC^{KB1}, MC^{KB2}$  – сформированные на основе отмеченных ранее сигналов матрицы, оценивающие состояния систем для KV1 и KV2;
- $X^{ГНСС1}, X^{ГНСС2}$  – сигналы на выходе систем ГНСС1 и ГНСС2;

- $MC^{ГНСС1}$ ,  $MC^{ГНСС2}$  – матрицы, оценивающие состояние систем ГНСС1 и ГНСС2;
- $X^{РАИМ}$  – вектор переменных, оценивающих целостность навигационной системы с использованием алгоритма RAIM;
- Пр. Дост – критерий, оценивающий достоверность информации, полученной от соответствующей системы измерения с учетом погрешностей фильтра с ограниченно растущей памятью (ФОРП);
- $СКО(t+tk)$  – вычисленные на интервале  $tk$  значения среднеквадратических отклонений;
- Пр.НЕПР – критерий ошибки непригодности спутниковой системы навигации, свидетельствующий о непригодности информации, полученной от этой системы;
- $t^{прог}$  – вектор, прогнозирующий время выхода навигационных параметров за пределы заданной точности;
- ФОРП – субоптимальный фильтр Калмана, скорость роста памяти которого ограничена;
- Пр. РСИ – признаки, определяющие возможность использования информации от навигационной системы;
- $X_{вых}$ ,  $ДХ_{вых}$  – искомые векторы навигационных параметров и оценок возможных ошибок.

Рассмотренный алгоритм контроля целостности навигационных измерений обеспечивает сохранение достоверных данных во всех дорожных ситуациях с доверительной вероятностью 96-99% [76].

FDE (Fault Detection and Exclusion) осуществляет проверку работоспособности спутника, используя параметры вектора четности, сформированного в пространстве четности на основе полученных статистических данных. В качестве таких данных могут использоваться среднеквадратическое отклонение шума измерений и доверительные вероятности ошибок первого и второго рода.

Проверка согласия гипотез о возможности ложной тревоги или пропуска обнаружения ошибки проводится на основе распределения «хи-квадрат» с двумя степенями свободы. На основе проведенной оценки формируется величина, задающая порог горизонтальной целостности. Эта величина соответствует минимальной ошибке, при обнаружении которой принимается решение о возможности ошибки первого или второго рода.

#### **1.4. Исследование особенностей алгоритмов маршрутизации при решении задачи контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств**

Одной из основных задач ИТС является контроль безопасности маршрутов движения транспортных средств. Важным средством решения этой задачи служит маршрутизация - процесс определения в дорожной сети наилучшего пути, по которому транспортное средство может достигнуть конечного пункта [1], [55].

Задачи маршрутизации сводятся к следующему:

- обеспечение минимального времени следования ТС из пункта отправления до пункта назначения;
- повышение пропускной способности транспортной сети;
- обеспечение максимальной безопасности ТС при следовании по маршруту;
- повышение гарантии доставки груза и пассажиров по назначению;
- минимизация затрат и экологического ущерба, связанных с движением ТС по маршруту.

Выбор оптимального маршрута, отвечающего всем перечисленным требованиям, зависит от топологии дорожной сети, пропускной способности транспортных магистралей и интенсивности дорожного движения [16]. При этом топология дорожной сети может изменяться в результате возникновения пробок, дорожно-транспортных происшествий, ремонта дорог, а также при введении

ограничений на движение ТС или открытии новых транспортных магистралей [56], [57].

На практике все существующие типы маршрутизации подразделяют на три вида в зависимости от того, в какой степени они учитывают возможность изменения топологии и нагрузки транспортной сети. При этом различают простую, фиксированную и адаптированную маршрутизацию [82].

1. Простая маршрутизация не позволяет динамично учитывать изменение топологии сети, а также изменение дорожной обстановки. В связи с этим данный тип маршрутизации имеет низкую эффективность в условиях реальной эксплуатации ТС. Единственным ее преимуществом является простота используемого алгоритма, что гарантирует быстрый поиск оптимального маршрута и быструю его смену при изменении дорожной обстановки. При реализации этого типа маршрутизации используют два подхода, первый из них основывается на случайном поиске, второй использует лавинную маршрутизацию.

2. Более совершенной является фиксированная или статическая маршрутизация, которая позволяет учитывать возможные изменения топологии дорожной сети. В то же время она не учитывает оперативного изменения дорожной ситуации. Принцип маршрутизации основывается на составлении таблицы маршрутов, по которой находятся кратчайшие пути. Фиксированный характер подобных маршрутов обусловлен тем, что они составляются заранее в центре управления дорожным движением. Обновление набора оптимальных маршрутов производится периодически по мере изменения топологии дорожной сети. Отсутствие оперативного учета меняющейся дорожной обстановки является предпосылкой к возникновению пробок, что приводит к увеличению времени движения по оптимальному маршруту. В определенной мере этот недостаток устраняется при переходе от однопутевой к многопутевой маршрутизации, когда при возникновении пробок транспортные потоки направляются по альтернативным маршрутам.

3. Наиболее совершенным вариантом маршрутизации является адаптивная или динамическая маршрутизация. В этом случае оптимальный маршрут выбирается с учетом возможных изменений не только топологии, но и загруженности транспортной сети. Различают несколько модификаций этого типа маршрутизации, которые отличаются характером информации, учитываемой при выборе маршрута.

Исходя из степени охвата существующей дорожной сети, маршрутизацию делят на локальную, распределенную, централизованную и гибридную [3].

Особое место среди видов адаптивной маршрутизации занимает маршрутизация с использованием составного звена. Суть этой маршрутизации заключается в использовании информации, поступающей от транспортных средств, оснащенных аппаратурой мониторинга. Информационные сообщения содержат данные о местоположении ТС и окружающей дорожной обстановке внутри соответствующего региона маршрутизации. В результате центр управления дорожным движением располагает оперативной информацией о дорожной обстановке, что позволяет гибко реагировать на любые изменения дорожной ситуации. При этом любые изменения конфигурации графов, описывающих состояние дорожной сети в соответствующем регионе, передаются всем пользователям, что обеспечивает стабильность процесса маршрутизации, поскольку каждый маршрутизатор, входящий в состав бортовой аппаратуры, использует одинаковые исходные данные и общую стратегию поиска оптимального маршрута, основанную на алгоритме Дейкстры и других алгоритмах поиска кратчайшего пути в графах [61].

Вместе с тем, общим недостатком всех алгоритмов маршрутизации является то, что они ищут кратчайший маршрут, или, в лучшем случае, маршрут, требующий минимальных временных затрат. В то же время такие важные факторы как безопасность движения в этих алгоритмах не учитываются.



### 1.5. Результаты и выводы по первой главе

Проведенный в данной главе анализ возможностей современных ИТС, построенных на основе инфо-телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации, позволяет сделать следующие выводы.

1. Опыт создания и эксплуатации ИТС, таких как ITS-Europe (ERTICO), ITS-America, ITS-Japan, ITS-China и многих других, свидетельствует о следующих преимуществах, связанных с внедрением подобных систем:

- сокращение смертности на дорогах;
- прирост ВВП в среднем на 7-10%;
- сокращение доли транспортных расходов в себестоимости продукции и услуг до 10-15%;
- снижение потребления топлива в крупных городах на 20-30%;
- увеличения количества рабочих мест на 2-3%;
- снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

2. Достижению указанных преимуществ в условиях РФ препятствуют следующие причины:

- отсутствие системного подхода, в котором должны учитываться региональная специфика, специфика дорожной сети, специфика космического и наземного сегментов транспортных систем передачи данных, а также особенности организации управления дорожным движением;
- недостаточная степень межпроектной унификации программно-аппаратных средств информационно-измерительных и управляющих систем, что связано с низким уровнем стандартизации и кооперации производителей компонентов ИТС;
- ориентация на использование зарубежной картографической основы, геоинформационных систем и сигналов Navstar/GPS ;
- низкая практическая ценность используемых автомобильных навигационных систем, позволяющих находить маршруты движения минимальной протяженности и не учитывающих такие важные показатели как

уровень безопасности движения по маршруту;

- недостаточная точность и целостность навигационных определений при позиционировании транспортных средств, связанная с особенностями работы спутниковых приемников в приземных условиях;
- необеспеченность юридической значимости информационных транзакций, в том числе позволяющих использовать существующие сети базовых станций сотовой связи для передачи сигналов навигационных спутников;
- недостаточное внимание к вопросам оперативного анализа данных и прогнозированию.

Для устранения указанных недостатков необходимо решить следующий круг задач, направленных на повышение эффективности информационно-измерительного и управляющего комплекса, предназначенного для использования в региональных ИТС.

1. Разработать унифицированную архитектуру программно-аппаратных средств информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС, обладающую широкими возможностями для масштабирования и гибкой реконфигурации структуры к заданным условиям применения с учетом специфики различных видов транспортных средств, региональной дорожной сети и специфичных проблем управления дорожным движением.

2. Разработать методику отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС на базе CASE-технологии, включающей иерархически упорядоченную совокупность функциональных и информационных моделей.

3. Разработать методику совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик, оценивающих технический уровень современных инфокоммуникационных технологий.

4. Разработать метод и технические средства контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой

карты с дополнительными слоями данных, учитывающими уровень безопасности движения по выбранному маршруту за счет расширения картоосновы используемой цифровой карты динамически настраиваемыми слоями данных.

5. Разработать методику улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств, обеспечивающую гарантированную целостность навигационных определений и их высокую точность за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы.

6. Провести оценку эффективности разработанного информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с использованием имитационной модели «Спутник», предназначенной для отработки и испытаний информационно-измерительных и управляющих систем спутниковой навигации.

## **ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИТС**

В данной главе рассматриваются принципы разработки унифицированной архитектуры информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС. Показано, что в рамках трехуровневой архитектуры реализуется единая информационная среда идентификации, навигации и позиционирования, телематического мониторинга и видеонаблюдения транспортных средств и грузов, что позволяет комплексно решать задачи управления транспортными системами региона. При этом верхний уровень комплекса образует интегрированную информационную среду интеллектуального управления эксплуатацией транспорта. Второй уровень включает в свой состав вычислительные системы, предназначенные для решения основных функциональных задач. Третий уровень объединяет заданную совокупность пассивных и активных элементов дорожной инфраструктуры [79].

Разрабатывается системная модель телематической платформы с использованием IDEF0-технологии, которая предусматривает построение иерархической системы диаграмм. При этом верхний уровень телематической платформы ИТС образует интегрированную информационную среду интеллектуального управления эксплуатацией транспорта; второй иерархический уровень включает в свой состав вычислительные системы, предназначенные для решения основных функциональных задач; третий уровень описывает функционирование периферийных устройств дорожной инфраструктуры. Представлен аппаратный состав периферийных устройств телематической платформы ИТС: дорожный контроллер; детектор транспорта; видеокамера купольного типа; 100 мегабитный коммутатор; гигабитный коммутатор.

## 2.1. Обоснование трехуровневой архитектуры информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС

Исходя из целей создания информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем (ИИУК ИТС), представленных в первой главе данной работы, а также с учетом функциональных возможностей существующих ИТС и задач, поставленных перед разработчиками российской ИТС, основные требования к ИИУК ИТС можно сформулировать следующим образом [64]:

### 1. Повышение качества транспортных услуг, за счет:

- выбора оптимальных маршрутов следования средств автомобильного транспорта в зависимости от интенсивности транспортных потоков, а также с учетом возможности возникновения пробок;
- обеспечения актуального контроля за работой транспортного предприятия с целью повышения ритмичности выполнения заказов на пассажирские перевозки, снижения расхода топлива, оплаты издержек в страховых случаях и других эксплуатационных расходов;
- формирования возможностей для минимизации длительности пассажирских перевозок путем оптимизации графика движения различных видов наземного транспорта и сокращения времени ожидания вызванных транспортных средств;
- создания условий для увеличения пропускной способности магистралей на основе оптимального управления транспортными потоками и своевременного информирования водителей о текущем состоянии дорожной обстановки;
- предоставления возможности пользователям пассажирского транспорта выбирать наиболее целесообразный маршрут следования от исходного пункта до пункта назначения с учетом графика движения различных средств общественного транспорта и складывающейся дорожной обстановки и интенсивности движения транспортных средств.

Кроме того, ИИУК ИТС решает целый ряд дополнительных задач, связанных с обеспечением требуемых условий перевозки груза, контролем местонахождения транспортного средства, оценки загруженности пассажирского транспорта и т.п. [31].

2. Повышение эффективности использования транспортных средств. Выполнение этого требования предполагает:

- сбор достоверных данных о работе транспортного предприятия с целью сокращения холостого пробега, выбора оптимальных маршрутов движения транспортных средств, нормирования рабочего времени водителей, оптимизации технического обслуживания и ремонта автотранспорта;

- минимизация обслуживающего персонала и оборудования при обеспечении заданного объёма перевозок;

- организация интеллектуальной поддержки водителей транспортных средств, предусматривающей автоматическую прокладку маршрутов движения по фиксированным промежуточным точкам с динамическим учетом изменяющейся дорожной обстановки, что позволяет осуществлять поддержку сопровождения транспортного средства за счет оперативной выдачи предупреждений и рекомендаций в аудио- визуальной форме.

3. Укрепление трудовой дисциплины водителей и смежных с ними сотрудников. ИТС не только оперативно выявляет нарушения, допущенные водителем, но и создает предпосылки для их предупреждения, такие как:

- выявление фактов нарушения правил дорожного движения для принятия мер по отношению к виновным лицам;

- формирование информационных сообщений для водителей о выявленных фактах допущенных нарушений при эксплуатации транспортного средства, и о рекомендациях по изменению маршрутов и графиков движения в связи с оценкой текущей дорожной обстановки;

- принятие мер по активации внимания водителей при возникновении опасных ситуаций и усложнении условий дорожного движения.

Еще одна группа задач, которая возлагается на разрабатываемый комплекс, направлена на выявление преднамеренных нарушений и злоупотреблений:

- корыстные действия, направленные на хищение топлива;
- перевозка не зарегистрированных грузов и неучтенных пассажиров;
- проведение погрузочных и разгрузочных операций в незаявленных пунктах;
- организация взаимодействия со специальными службами при возникновении экстренных или чрезвычайных ситуаций с предоставлением оперативной информации о состоянии транспортных средств.

4. Обеспечение безопасности транспортного обслуживания. Эта функция относится к числу наиболее востребованных услуг, предоставляемых ИИУК ИТС. Возможности, которыми располагает ИИУК ИТС в этой части, связаны с обеспечением соблюдения скоростного режима, максимальным учетом состояния транспортной инфраструктуры и текущего состояния дорожной обстановки. Бортовые средства дистанционного мониторинга автомобильного транспорта эффективно выполняют функции охранных и противоугонных систем, обеспечивая тем самым защиту пассажиров, водителя, груза и автомобиля при возникновении криминальных ситуаций. Еще одно преимущество разрабатываемого комплекса заключается в том, что имеющиеся в его распоряжении телекоммуникационные средства позволяют незамедлительно передавать информацию о возникающих неблагоприятных ситуациях в соответствующие службы с целью организации своевременной помощи. Важное значение имеет ИИУК ИТС при организации работы спецслужб в случае возникновения ДТП или криминальной ситуации, а также при осуществлении перевозок крупногабаритных и опасных грузов.

5. Формирование базы данных о техническом состоянии каждого автомобиля. Система способна получать, обрабатывать, хранить и выдавать пользователям текущие и ретроспективные данные об основных эксплуатационных и технических характеристиках каждого транспортного средства, включая пробег, технический ресурс, состояние отдельных агрегатов и систем, расход горюче-смазочных материалов. Указанная информация позволяет

сформировать оптимальный график проведения планово-предупредительного ремонта и обслуживания с целью обеспечения высокого уровня годности транспортных средств, а также минимизировать сверхнормативные запасы материальных ресурсов [8].

С точки зрения потребителя ИТС представляет собой комплексную систему информационного обеспечения, в состав которой входит совокупность интегрированных информационных сервисов, использующих информационные ресурсы, которые образуются в процессе транспортной и иных видов хозяйственной деятельности. Объединение всех видов информационных и информационно-телекоммуникационных услуг в рамках единого информационного поля - задача весьма актуальная и сложная, ее реализация требует решения следующих основных проблем [66]:

- 1) низкий уровень межпроектной унификации и координации проектов, отдельно реализуемых субъектами хозяйственной деятельности различных масштабов (особенно в негосударственном секторе);
- 2) ориентация на использование зарубежной картографической основы, геоинформационных систем и сигналов Navstar/GPS;
- 3) наличие монопольных устремлений производителей компонентов ИТС, низкий уровень стандартизации и кооперации;
- 4) наличие искусственных межсубъектных (в том числе, межведомственных) информационных барьеров, низкий уровень интеграции данных;
- 5) недостаточное внимание к вопросам оперативного анализа данных и мониторинга эффективности, что создает ощущение отсутствия эффекта от работы ИТС, а также к вопросам прогнозирования, что приводит к отсутствию представлений о дальнейшем развитии системы;
- 6) отсутствие системного подхода при разработке ИТС, в котором должны учитываться: специфика различных видов транспортных средств, специфика региональной дорожной сети и специфичные проблемы управления дорожным движением.



В результате при разработке интегральной телематической платформы ИТС приходится сталкиваться с несовместимостью сервисов и программно-технических решений, что требует создания унифицированной многоуровневой архитектуры ИТС, позволяющей систематизировано решить большинство из перечисленных проблем [64], [70], [72].

Верхний уровень этой системы, представленной на рисунке 2.1, образует интегрированную информационную среду интеллектуального управления эксплуатацией транспорта. К техническим средствам информационно-вычислительной сети верхнего уровня управления предъявляются следующие требования:

- 1) живучесть и высокая готовность вычислительной структуры сети;
- 2) возможность передачи в центр управления видеоизображений высокой четкости в реальном масштабе времени для организации работы в случае возникновения нештатных ситуаций;
- 3) использование средств мобильной передачи данных для увеличения зон покрытия средствами мониторинга и видеонаблюдения;
- 4) использование высокопроизводительных вычислительных средств обработки информации, поступающей от контролируемых устройств, включая распараллеливание вычислений для ускорения принятия решений в ИТС;
- 5) отказоустойчивость основных функциональных устройств и систем питания за счет использования структурного, функционального и временного резервирования для обеспечения работоспособности системы при возникновении программно-аппаратных отказов и сбоев в работе отдельных элементов;
- 6) совместимость с оборудованием, поддерживающим сетевые технологии в рамках создания системы с открытой архитектурой;
- 7) возможность функционирования оборудования потребителя на борту транспортного средства, а периферийного оборудования - в широком диапазоне климатических условий.

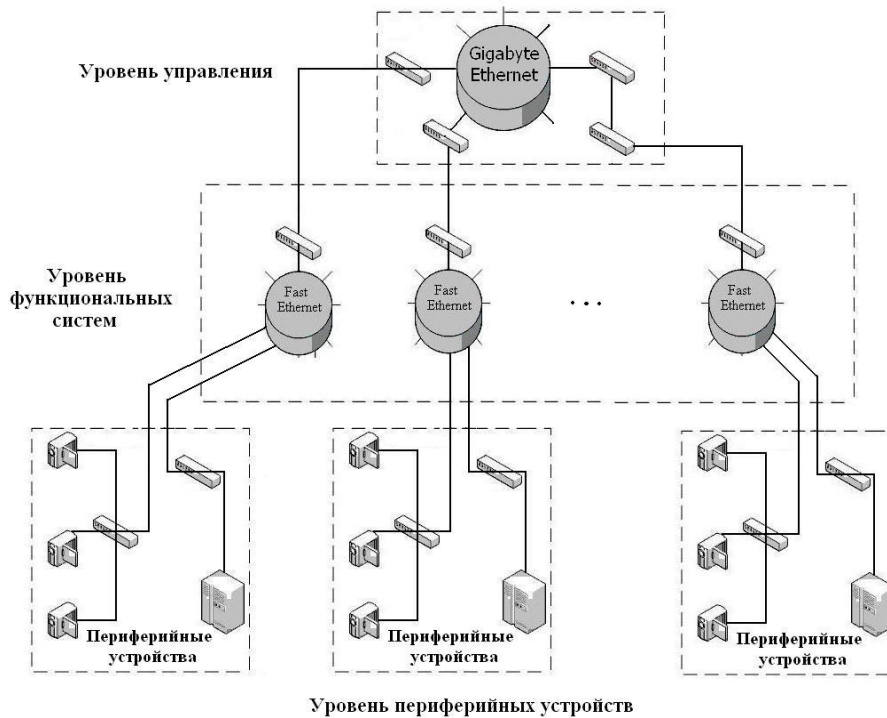


Рисунок 2.1 – Трехуровневая архитектура ИТС

Второй уровень ИТС включает в свой состав вычислительные системы, предназначенные для решения основных функциональных задач. К их числу относятся [64], [69]:

- 1) системы управления движением транспортных средств на основе спутниковой навигации и радиолокационного зондирования;
- 2) системы мониторинга подвижных объектов и эксплуатационного персонала с их автоматической идентификацией;
- 3) центры ситуационного контроля и прогнозирования критических ситуаций;
- 4) системы финансового мониторинга и оптимизации расходов.

Третий уровень ИТС составляют следующие пассивные и активные элементы:

- 1) объекты транспортной инфраструктуры, подлежащие оснащению средствами производства измерений, передачи, ретрансляции и приема сигналов;
- 2) средства дистанционного мониторинга и производства измерений;

- 3) элементы информационно-телекоммуникационной инфраструктуры транспортного комплекса;
- 4) транспортные средства и грузы, подлежащие оснащению средствами связи, дистанционного мониторинга и телеметрических измерений;
- 5) дистанционно управляемые исполнительные и индикационные устройства - приборы, узлы и агрегаты.

Большая часть перечисленных выше систем и средств используется для создания информационной картины дорожной ситуации и оптимизации движения транспортных средств, в частности, за счет синхронизации работы светофоров в зависимости от интенсивности потока, а также для предотвращения ДТП с помощью своевременного выявления потенциально опасных ситуаций. С этой целью в рамках дорожной инфраструктуры формируются информационные узлы, которые собирают, хранят и обмениваются информацией с водителями о состоянии дорожной обстановки. Ядром каждого такого информационного узла служит дорожный контроллер, в функции которого входит обработка оперативной информации, поступающей от устройств дистанционного мониторинга, а также регулирование дорожного движения за счет переключения светофоров по заданному алгоритму и передачи данных о наиболее оптимальных маршрутах объезда. Синхронизация работы всей совокупности информационных узлов осуществляется на верхних уровнях ИТС [70].

## **2.2. Методика отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС на базе CASE-технологии**

Разработка системной модели телематической платформы базируется на IDEF0-технологии, предусматривающей построение иерархической системы диаграмм. Контекстная диаграмма телематической платформы ИТС (рис. 2.2) содержит единственный блок с необходимыми атрибутами - входами, выходами, управлениями и механизмами [72], [74].

К входным сигналам (объектам, используемым и преобразуемым с целью получения результата) относятся: «Информация, поступающая от ТС», «Информация устройств дорожной инфраструктуры», «Информация различных служб», «Информационные данные GLONASS-GPS». Данная информация позволяет ИТС регулировать транспортные потоки с большой эффективностью, а также делает дорожно-транспортную инфраструктуру более безопасной [47], [51].

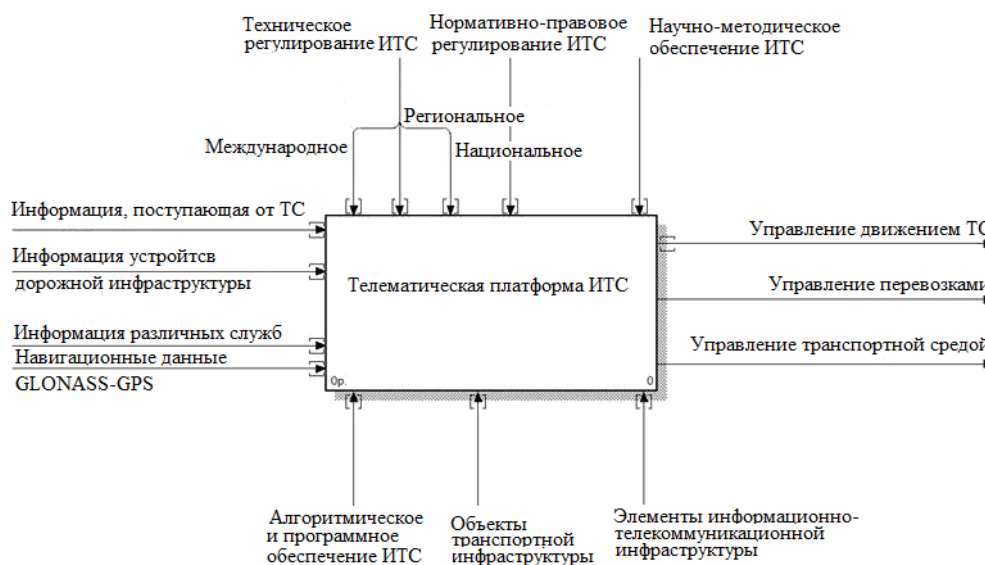


Рисунок 2.2 – Контекстная диаграмма «Телематическая платформа ИТС»

К механизмам (ресурсы, выполняющие работу) относятся основные методы и виды регулирования, технические устройства и стандарты, которые позволяют ИТС осуществлять контроль за дорожной обстановкой и регулировать транспортные потоки. К основным механизмам относятся: «Алгоритмическое и программное обеспечение ИТС», «Объекты транспортной инфраструктуры», «Элементы информационно-телекоммуникационной инфраструктуры» [4], [7].

Управление (информация, управляющая действиями работы) содержит основные методики, эксплуатационную документацию, нормативные правовые акты регулирующие функционирование ИТС, к ним относятся: «Техническое регулирование ИТС (международное, региональное, национальное)», «Нормативно-правовое регулирование ИТС», «Научно-методическое обеспечение ИТС» [85].

К выходам (объекты, в которые преобразуются входы) относятся управляющие воздействия, направленные на решение основных функциональных задач ИТС: «Управление движением транспортного средства (ТС)», «Управление перевозками», «Управление транспортной средой».

Одним из основных понятий стандарта IDEF0 является декомпозиция. Принцип декомпозиции применяется при разбиении сложного процесса на составляющие его функции. Представленная на рисунке 2.3 IDEF-диаграмма верхнего уровня архитектуры телематической платформы ИТС на базе оптоволоконной индустриальной Ethernet-сети включает совокупность функциональных блоков, образующих интегрированную информационную среду интеллектуального управления эксплуатацией транспорта.

Основной блок этой диаграммы (блок 2) соответствует вычислительной сети, реализующей основные вычислительные процедуры уровня управления. Этот блок взаимодействует с внешними устройствами через соответствующие модемы (блоки 3, 4, 5). Для предварительной обработки данных, поступающих от различных источников и имеющих различные форматы, служит центр обработки данных (ЦОД) – блок 1.

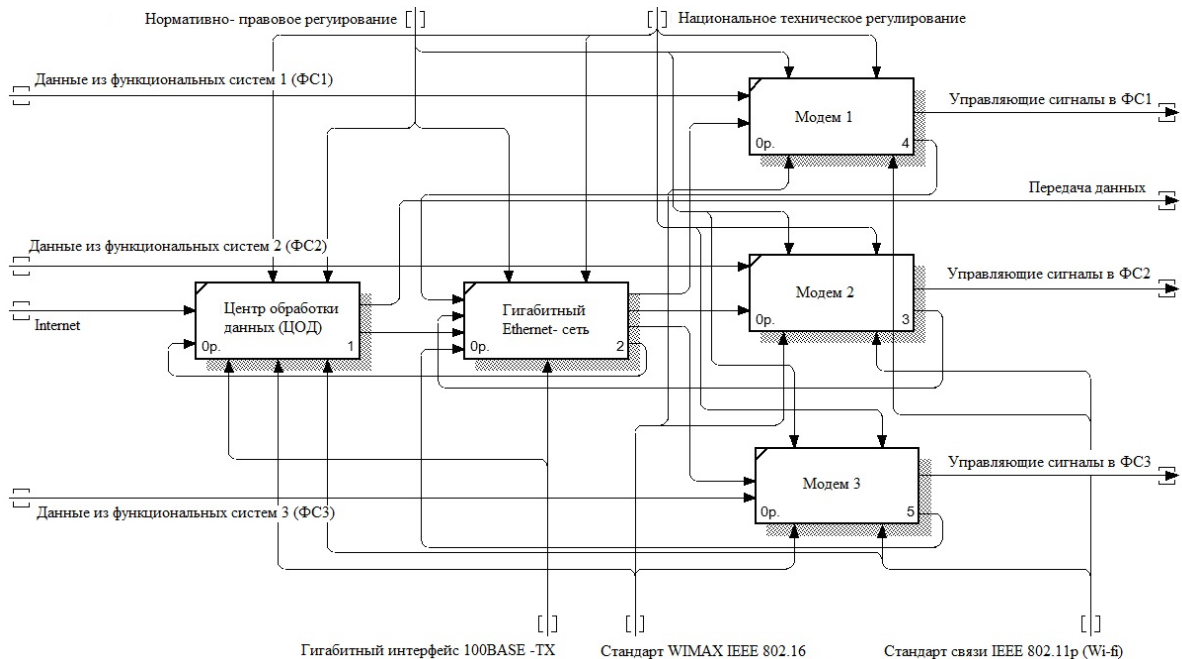


Рисунок 2.3 – IDEF диаграмма верхнего уровня архитектуры телематической платформы ИТС

Второй иерархический уровень телематической платформы ИТС включает в свой состав вычислительные системы, предназначенные для решения основных функциональных задач (рисунок 2.4). При этом блок 1 «Система позиционирования ТС» решает задачу управления движением транспортных средств на основе спутниковой навигации и радиолокационного зондирования. Блок 2 «Системы мониторинга ТС» выполняет функцию мониторинга подвижных объектов и эксплуатационного персонала с их автоматической идентификацией. В задачи блока 3 «Центр ситуационного контроля» входит оценка складывающейся дорожной обстановки и прогнозирование критических ситуаций. Блок 4 «Система финансового мониторинга и оптимизации расхода» служит для разработки управленческих решений, позволяющих повысить финансово-экономическую эффективность эксплуатации ТС [78].

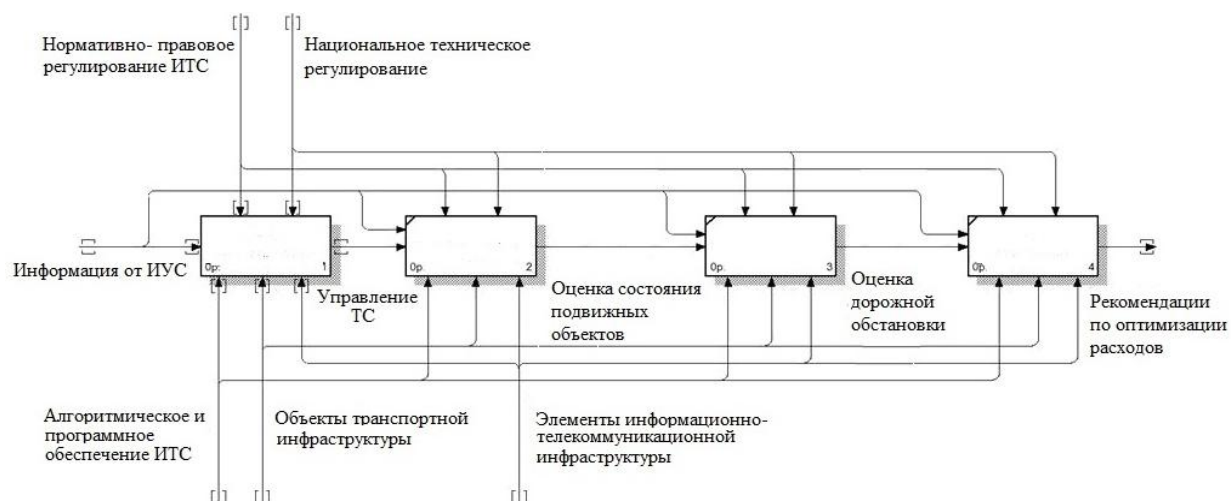


Рисунок 2.4 – Функциональная модель второго уровня архитектуры телематической платформы ИТС

Функциональные системы второго уровня могут быть реализованы на базе Ethernet-колец на коммутаторах со скоростями 100 Мб/с с использованием систем цифровой радиосвязи со всеми объектами транспортной инфраструктуры и спутниковых систем мониторинга объектов радиолокационного зондирования. Универсальная функциональная модель каждой такой системы показана на рисунке 2.5. В ее состав входит вычислительная сеть (блок 1), а также средства связи с объектами верхнего уровня управления (блок 2) и периферийными

устройствами, которые входят в третий иерархический уровень телематической платформы (блок 3).

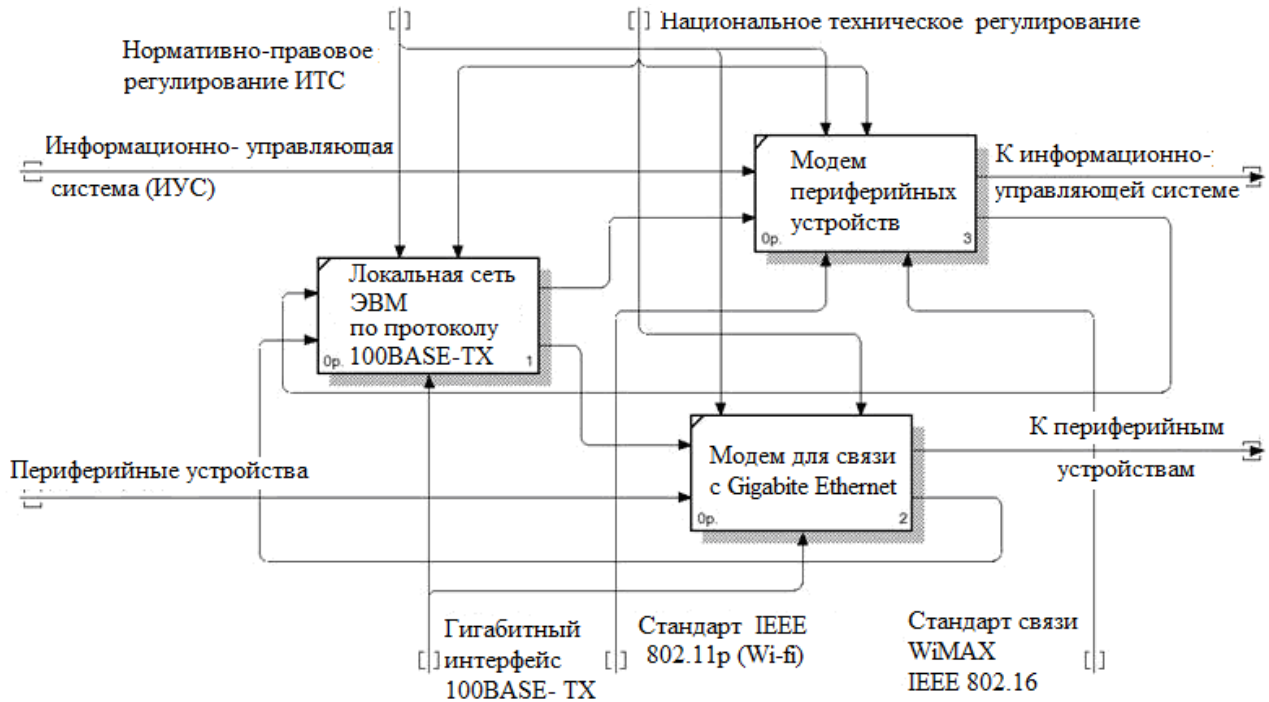


Рисунок 2.5 – Универсальная функциональная модель информационно-вычислительных систем второго уровня архитектуры телематической платформы ИТС

Функциональная модель уровня периферийных устройств архитектуры телематической платформы ИТС представлена на рисунке 2.6. В ее состав входят: совокупность дистанционно управляемых исполнительных и индикационных устройств (блок 1); элементы информационно-телекоммуникационной инфраструктуры транспортного комплекса - приемник GPRS (блок 2), бортовой компьютер (блок 3), приемник GPS (блок 4); транспортное средство, подлежащее оснащению средствами связи, дистанционного мониторинга и телеметрических измерений (блок 5); исполнительное и индикационное оборудование (блок 6).

Следующим шагом в построении системной модели телематической платформы ИТС является разработка информационной модели. Информационная модель представляет собой совокупность сущностей и атрибутов, что является прообразом базы данных (БД) в третьей нормальной форме. Построенные на основе информационной модели базы данных будут заполняться и использоваться

на всех уровнях иерархии интеллектуальной транспортной среды. Информационные модели необходимы для упорядочивания информационных потоков, определения логической структуры БД, определения и учета требуемого объема хранимых данных, разграничения прав доступа к данным и удобства выборки и обработки данных.

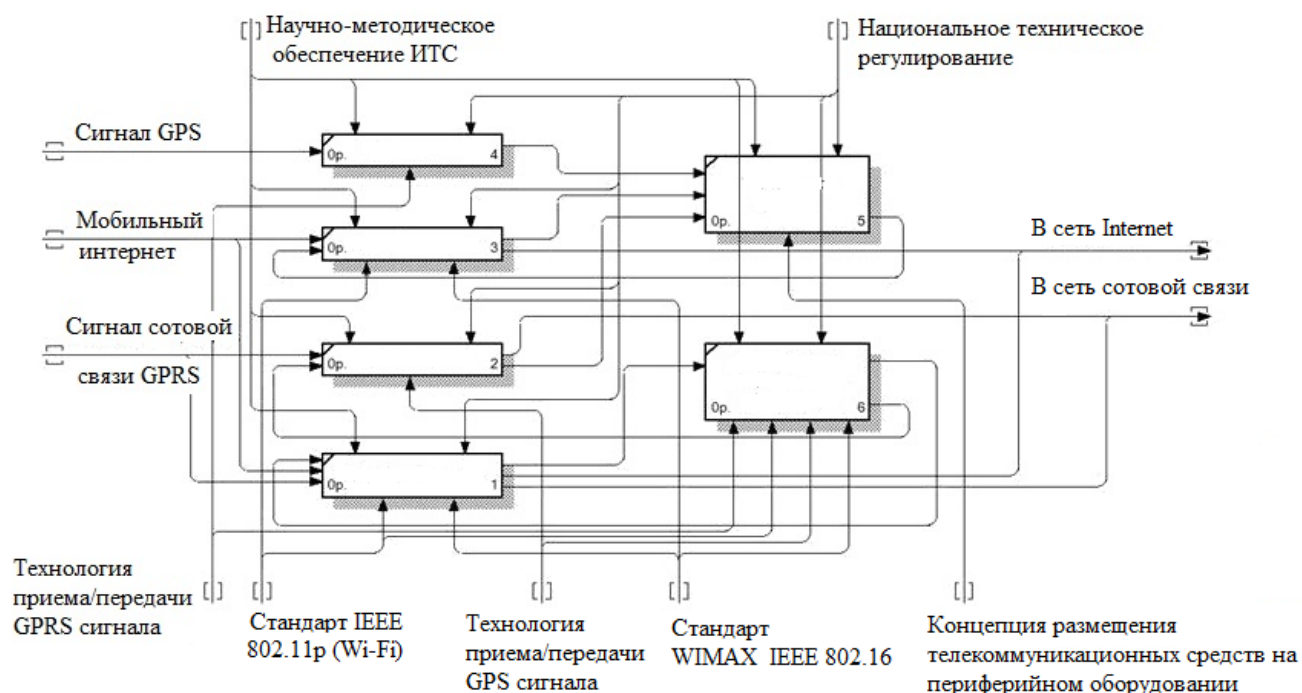


Рисунок 2.6 – Функциональная модель уровня периферийных устройств архитектуры телематической платформы ИТС

База данных постоянно пополняется информацией об обстановке на различных участках дорожной инфраструктуры, а также содержит все данные об источниках информации и системах сбора данных. Информационная модель содержит временные зависимости всех измеряемых параметров, а также минимальную информацию об объектах слежения, необходимую для идентификации конкретных происшествий на дороге, с целью динамического регулирования маршрута пользователя с учётом, в случае необходимости, всех поправок, полученных от различных источников информации. БД первичных данных является хранилищем, содержащим данные, которые могут быть использованы для построения маршрута. Кроме того, пополнение этой БД



позволит в будущем улучшить работу всей транспортной инфраструктуры региона. Она может использоваться для формирования динамической базы знаний ИТС, включая технологии искусственного интеллекта. База данных обработанной информации является «информационным ядром» всего процесса построения маршрута, она содержит наиболее полную информацию как обо всем процессе регулирования транспортного потока, так и о самом объекте слежения. БД обработанной информации содержит информацию об источниках информации (координаты расположения: долгота и широта, высота, служебная информация (информация о состоянии источника, полезный сигнал и т.д.)), информацию о возможных дорожно-транспортных происшествиях (название, тип, количество участников, номера машин) и информацию, поступающую от дорожных служб о состоянии дорог. Кроме того, БД обработанной информации содержит данные о качестве работы оборудования (служебная информация). Данная БД служит основой для формирования пакетов информации, передаваемой в вышестоящие уровни иерархии ИТС [3].

Информационная модель базы данных сбора и обработки информации ИТС представлена на рисунке 2.7. Данная модель содержит 6 сущностей:

- оповещатели;
- тип оповещателя;
- дорожная обстановка;
- ДТП;
- фактическое ДТП;
- главная;

В данной модели 5 сущностей-родителей: оповещатели, тип оповещателя, дорожная обстановка, ДТП, фактическое ДТП и 1 сущность-потомок: главная. Каждому источнику информации, которые взаимодействуют с сущностью «оповещатели», присваивается идентификационный номер («ID\_оповещателя»). Сущность «главная», для которой сущность «оповещатели» является родителем, содержит перечень имеющихся источников информации о дорожной обстановке. Следующая сущность «фактическое ДТП», которая является родителем для

сущности «главная», связана с последней не идентифицирующей связью, поэтому данные из сущности «фактическое ДТП» могут передаваться в «главная» неоднократно. Это позволяет осуществлять периодические и многократные запросы информации от источников для ее последующего анализа. Сущность «фактическое ДТП» является одной из важнейших частей работы всей ИТС и позволяет регулировать транспортную обстановку исходя из полученных данных о дорожно-транспортных происшествиях и ремонтных работах на определённых участках дорог, что выражено в ее атрибутах: «ID\_Событие ДТП», «Количество участников», «Номера машин», «ID\_ДТП», «ID\_Обстановка». Приведенные атрибуты позволяют точно идентифицировать аварийную ситуацию (по типу, по количеству участников).

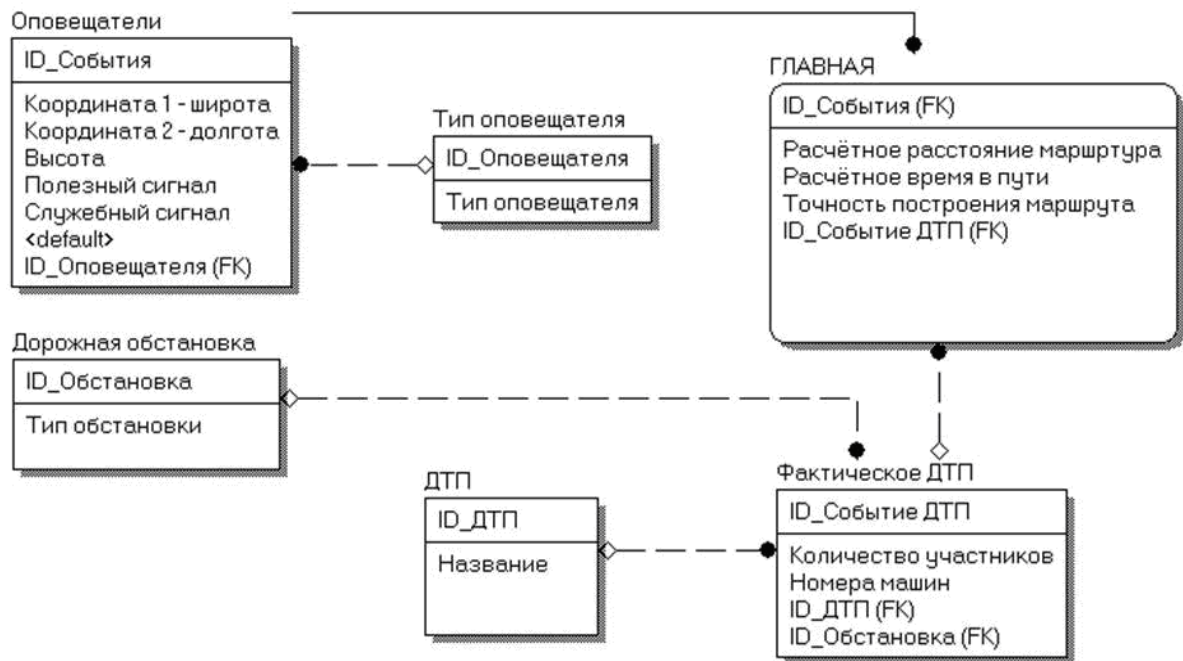


Рисунок 2.7 – Информационная модель базы данных сбора и обработки информации

Таким образом, представленная в данном разделе концепция интегральной телематической платформы ИТС позволяет унифицировать программно-аппаратную среду при реализации широкого класса проектов, имеющих региональную и ведомственную специфику. Использование стандартных открытых архитектур информационно-вычислительных систем создает широкие

возможности для их расширяемости, мобильности и интероперабельности, что обеспечивает хорошие предпосылки для дальнейшего развития интеллектуальной системы [34], [36].

### **2.3. Принципы формирования программно-аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС на основе компонент высокой степени готовности**

Требованиям к техническим средствам информационно-вычислительной сети верхнего уровня управления, которые были сформулированы в разделе 2.1, во многом отвечает оптоволоконное Gigabit Ethernet-кольцо на базе промышленных коммутаторов с поддержкой резервируемой кольцевой структуры с малым временем восстановления. Ориентация на 100-гигабитный Ethernet-интерфейс позволяет создать высокопроизводительную сетевую инфраструктуру, обеспечивающую построение быстродействующей масштабируемой вычислительной среды для ускоренного роста сетевого трафика, обусловленного передачей видео, обслуживанием беспроводных соединений и новыми вычислительными технологиями, такими как облачные вычисления (cloud computing).

К основным преимуществам данной топологии можно отнести:

- высокая надежность за счет кольцевой избыточной резервируемой топологии построения сети, дублированного питания, возможности работать в широком температурном диапазоне (обычно от  $-40$  до  $+75^{\circ}\text{C}$ ) и за счет специальных защищенных корпусов для оборудования, обеспечивающих защиту от агрессивных сред;
- быстрое восстановление после сбоев или замены вышедшего из строя оборудования (менее 300 мс);
- формирование динамических отчетов о состоянии и (или) выдача сигналов аварии на релейные контакты оборудования для предотвращения его выхода из строя;

- наличие функций управления для поддержания работоспособности и мониторинга индустриальной Ethernet-сети из единого центра управления;
- наличие встроенных в устройства веб-серверов для дистанционного доступа к оборудованию;
- возможность обслуживания сегментов сети с разными топологиями;
- широкие возможности настройки сетевого окружения (DNS, DHCP, шлюзы, домены, рабочие группы и т.д.).

Технология Gigabit Ethernet позволяет строить крупные локальные сети, в которых серверы и магистрали нижних уровней сети работают на скорости 100 Мбит/с, а магистраль 1000 Мбит/с объединяет их, обеспечивая запас пропускной способности. Таким образом, построение верхнего уровня ИТС на базе оптоволоконной индустриальной Ethernet-сети позволяет получить высоконадежную структуру, не подверженную воздействию транспортных и электрических помех, а также влиянию внешней среды [6], [8].

Комплекс технических устройств, необходимых для реализации верхнего уровня телематической платформы, включает набор высокопроизводительных информационно-вычислительных устройств высокой степени готовности:

- локальная вычислительная сеть, объединяющая компьютеры с характеристиками не ниже следующих: многоядерные процессоры с частотой не менее 10 ГГц, оперативной памятью 10 Гб, внешней памятью 10 Тб;
- промышленные коммутаторы на базе гигабитных оптоволоконных сетей передачи данных с поддержкой операционных систем MacOS, Linux, Windows 10 и выше;
- интерфейсы на базе стандартов IEEE 802.1s (MultipleSpanningTree), IEEE 802.3x (Flowcontrol) с интеллектуальной поддержкой LANпортов, uplink-портов, miniGBIC;
- устройства связи с периферийными системами с использованием модемов-маршрутизаторов, поддерживающих протоколы соединения с Интернетом на основе мультипротокольной инкапсуляции, обеспечивающих управление логическим соединением и мультиплексированием на основе

виртуальных каналов, включая статическую IP-маршрутизацию, организацию виртуальных серверов и переадресацию портов.

Системы второго уровня могут быть реализованы на базе Ethernet-колец на коммутаторах со скоростями 100 Мбит/с с использованием систем цифровой радиосвязи со всеми объектами транспортной инфраструктуры и спутниковых систем мониторинга объектов радиолокационного зондирования, оснащенных следующим комплексом технических средств [25]:

- системы и средства координатно-временного, метеорологического и т.п. видов обеспечения;
- устройства, линии и сети связи и передачи данных;
- средства дистанционного мониторинга;
- системы и средства сбора, накопления и обработки информации;
- автоматизированные системы и средства управления;
- системы и средства отображения и доведения информации.

Совокупность технических устройств, реализующих второй уровень телематической платформы, отражает тенденцию на унификацию оборудования, реализующего функции систем этого уровня, таких как система позиционирования ТС, системы мониторинга ТС и центр ситуационного контроля. Все перечисленные системы предлагается строить на базе 100-Мб Ethernet с кольцевой структурой. Для поддержки такой сетевой структуры в настоящее время используется значительное количество модификаций протоколов 100-Мб Ethernet, к числу которых относится 100BASE-T, 100BASE-TX, IEEE 802.3u, 100BASE-T4, 100BASE-FX. Указанные модификации различаются главным образом типом используемого кабеля, начиная с витой пары и кончая многомодовым оптическим волокном. В зависимости от типа кабеля расстояние между соединяемыми устройствами варьируется от 100 м до 32 км.

Более детальная спецификация устройств, реализующих функциональные системы второго уровня архитектуры телематической платформы, приведена в таблице 2.1.

В качестве технологий беспроводной передачи данных целесообразно выбрать стандарты мобильного Интернета IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (Wireless MAN – WiMAX) и мобильной связи – GPRS. Необходимость использования этих двух различающихся технологий обусловлена тем, что каждая из них обладает целым рядом особенностей, которые обеспечивают им преимущество в зависимости от характера решаемой задачи [81].

Таблица 2.1. Устройства универсальной функциональной модели второго уровня архитектуры

Функциональная система	Тип устройства
Вычислительная сеть	100-мегабитный Ethernet на базе протоколов: - 100BASE-T ; - 100BASE-TX; - IEEE 802.3u; - 100BASE-T4 ; - 100BASE-FX
Средства связи с объектами верхнего уровня управления	Модем связи с Gigabit Ethernet: Интерфейс-Тип PCI 2.2; Передача данных- Скорости передачи: 10/100/1000 Мбит/с Буфер FIFO 32К передача и прием; Стандарты- IEEE 802.3 10BaseT IEEE802.3u 100BaseTX IEEE802.3ab 1000BaseT IEEE 802.3x Full Duplex Flow Control IEEE 802.1q VLAN tagging
Средства связи с периферийными устройствами	- модемы для мобильной передачи данных по стандартам Интернет IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (Wireless MAN - WiMAX); - модемы передачи данных по стандарту сотовой связи – GPRS.

Преимущества мобильного WiMAX сводятся к следующему:

- большая спектральная эффективность, по сравнению с существующими 3G-технологиями;
- лучше функционирует в условиях нагруженной сети;
- более высокая помехоустойчивость;
- максимальная пропускная способность;
- более эффективная работа системы за счет использования улучшенных механизмов качества обслуживания (QoS);

- первым обеспечил возможность мобильного широкополосного доступа и будет сохранять отрыв в 2-3 года от других технологий;
- сети 3G, оптимизированные для голоса, не могут мгновенно быть адаптированы для обслуживания большого числа широкополосных интернет-пользователей, поэтому они проигрывают WiMAX, изначально разработанному "с прицелом" на беспроводный широкополосный доступ;
- WiMAX обеспечивает меньшую стоимость на бит переданной информации, нежели 3G.

Пропускная способность таких сетей лежит в пределах от 40 Мбит/с до 1 Гбит/с (для фиксированного WiMAX) и до 100 Мбит/с (для мобильного WiMAX). Радиус действия покрывает диапазон от 1-5 км до 6-10 км. При этом фиксированный WiMAX позволяет обслуживать только «статичных» абонентов, а мобильный ориентирован на работу с пользователями, передвигающимися со скоростью до 120 км/ч [81].

Технология Wi-Fi применяется в основном для управления движущимися объектами, а также в тех случаях, когда невозможно прокладывать проводные линии связи. Технология объединяет стандарты IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g и 802.11n с пропускной способностью от 11 Мбит/с до 300 Мбит/с (в перспективе до 600 Мбит/с) и радиусом действия до 100 метров.

Основные характеристики наиболее распространенных стандартов этой технологии передачи данных приведены в таблице 2.2.

Перспективы использования технологии передачи пакетных данных по радиосетям (GPRS) связаны, в первую очередь, с сетями мобильной связи третьего поколения 3G, так называемыми сетями поколения 3.5G и 4G. В сетях EDGE теоретически возможна скорость до 474 Кбит/с. Мобильный доступ с помощью GPRS/EDGE самый удобный, поскольку не требуется никаких затрат и сложных настроек, связь обеспечивается практически в любом месте.

Мобильная связь третьего поколения строится на основе 5 стандартов семейства IMT-2000 (UMTS/WCDMA, CDMA2000/IMT-MC, TD-CDMA/TD-SCDMA, DECT и UWC-136). Использование технологии CDMA (Code Division

Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением каналов) позволяет поддерживать следующие скорости передачи данных: для абонентов с высокой мобильностью (до 120 км/ч) – не менее 144 Кбит/с; для абонентов с низкой мобильностью (до 3 км/ч) – 384 Кбит/с; и для неподвижных объектов – 2048 Кбит/с [81].

Таблица 2.2. Основные характеристики стандарта Wi-Fi

Стандарт	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Год ввода стандарта	1997	1999	1999	2003
Рабочая частота	83.5 МГц	300 МГц	83.5 МГц	83.5 МГц
Диапазон частот	2.4 – 2.4835 ГГц	5.15 – 5.35 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц
Способ модуляции	DSSS, FHSS	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM
Скорость обмена данными	2,1 Мбит\с	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Мбит\с	11, 5.5, 2, 1 Мбит\с	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Мбит\с
Совместимость	802.11	Wi-fi5	Wi-Fi	Wi-Fi со скоростью 11 Мбит\с и ниже

В свою очередь, сети поколения 3.5G, использующие стандарт мобильной связи HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access – высокоскоростная пакетная передача), имеют максимальную теоретическую скорость передачи данных по стандарту, составляющую 14,4 Мбит/с, а при использовании модуляций очень высоких порядков, таких, как 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation) и технологии (MIMO) (мультивход и мультивыход) скорость передачи данных возрастает до 84.4 Мбит/с.

Технология следующего поколения - 4G, увеличивает среднюю скорость передачи данных до 10 Мбит/сек и что особенно важно, делает связь по-настоящему мобильной, поскольку поддерживает эту скорость и при движении. Сети связи 4-ого поколения базируются на двух основных стандартах - WiMAX и LTE. При этом технология WiMAX может применяться в качестве «магистральных каналов» в сетях, базирующихся на других стандартах, например, DSL или при использовании выделенных линий. Преимущества этого



стандарта по сравнению с простыми WI-FI сетями заключается в обеспечении более скоростей передачи данных и больших зон покрытия.

Задачи повышения эффективности и минимизации издержек в сетях, отвечающих и технологии поколения 3G (CDMA, UMTS) реализуется в технологии мобильной передачи данных Long Term Evolution (LTE). В сетях, построенных по этому стандарту скорость передачи данных может достигать 300 Мбит/сек, хотя большинству пользователей вполне достаточно и 20-80 Мбит/сек.

Следует отметить следующие недостатки технологии 4G:

- высокое энергопотребление аппаратов, способных работать с сетями 4G;
- развитие сетей 4G затормаживает низкая активность инвесторов.

#### **2.4. Особенности аппаратного состава периферийных устройств информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС**

Периферийные устройства третьего уровня телематической платформы являются наиболее разнородными по своему составу. Наиболее характерные представители этой группы устройств представлены в таблице 2.3 [64].

В настоящее время используются различные модификации современных дорожных контроллеров, способных решить любую задачу по регулированию дорожного движения. Дорожные контроллеры производятся как универсальные с фиксированным количеством каналов, так и модульные, позволяющие наращивать количество каналов с 3-х до 24-х в процессе эксплуатации. Все дорожные контроллеры имеют возможность использования специальных программ, реализующих заданные алгоритмы регулирования движения. Конструктивный ряд контроллеров ДКСМН (см. рис. 2.8, а)) включает стандартный электронный блок, в котором размещаются субблоки.

В зависимости от номенклатуры устанавливаемых дополнительных субблоков расширяются функциональные возможности дорожных контроллеров. В частности, субблок ЛВН обеспечивает подключение выносного пульта управления для сотрудников ГИБДД при необходимости оперативного управления на перекрестке и организации «зеленой улицы» в системе.

Таблица 2.3. Периферийные устройства телематической платформы

	Тип устройства
<b>Дорожный контроллер</b>	<p>Контроллер дорожный универсальный 3.2Н  Технические характеристики:  Количество каналов - 24</p> <p>Контроллер дорожный универсальный 3.3Н  Технические характеристики:  Количество каналов - 32</p> <p>Контроллеры с модульной архитектурой построения ДК-Л и ДК-С  Технические характеристики:  Количество каналов – от 3-х до 24</p> <p>Общие характеристики для всех модификаций дорожных контроллеров:  Максимальное число фаз - 16;  Максимальный коммутируемый ток контроллера - 7,5 А;  Наличие GPS приемника;  Возможность подключения ВПУ4-А, подключаемого по интерфейсу RS485;  Работа со светодиодными светофорами.  Количество силовых выходов ДК - до 144.  Коммутируемое напряжение от 170 до 250 В частотой (50±1) Гц.  Минимальная мощность одного силового выхода - не менее 5 Вт.  Максимальная нагрузка одного силового выхода - не более 140 мА.  Максимальный коммутируемый ток контроллера - не более 7,5 А.  Максимальное число фаз, обрабатываемое ДК - 16.  Максимальное число временных программ в локальном режиме, задаваемых внутренним таймером реального времени в зависимости от времени суток, дня недели, месяца, - не менее 32 (коррекция показаний таймера по GPS). В течение всего срока службы ДК обеспечивается сохранение показаний таймера реального времени.  Процессорный субблок ЦП обеспечивает: работу по физической линии связи со 100-битным протоколом обмена; WI-MAX связь 4G; WI-FI связь;  работу по оптоволокну (вход оборудования от ДК до 90м); работу по оптоволокну (вход оборудования от ДК до 1000м).</p>
<b>Детектор транспорта</b>	<p>Технические характеристики: незначительное потребление энергии; избирательность полос движения; большой радиус действия; несложный монтаж; номинальный радиус действия - 20м; количество контролируемых полос движения - 1; возможность изменение угла установки - до 75 градусов; выходной элемент - сухой контакт;  напряжение питания - +12В;  потребляемый ток - не более 12мА;  расширенный диапазон температур от минус 40°С до +50°С.</p>

<b>Видеокамера купольного типа</b>	<p>Видеокамера Мохха VPort 25</p> <p>Технические характеристики: резервируемое питание; PoE (Power-over-Ethernet) и непосредственно от источника- рабочая температура от -40 до 50°C без необходимости подогрева или охлаждения, IP66-защита для предохранения от пыли и влаги, вандалоустойчивое исполнение для предотвращения влияния внешних сил, различные опции внешней установки</p> <p>Управление и контроль видео: ПО видеонаблюдения MOXA SoftDVR™ Lite для 1- 4- камер для просмотра и записи (бесплатно); бесплатный пакет MOXA VPort SDK PLUS, включая CGI команды и ActiveX управление для создания пользовательских приложений или системной интеграции с оборудованием других производителей.</p>
<b>100-мегабитный коммутатор</b>	<p>Технические характеристики:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MOXA PowerTrans PT-7710 - 10 портовый Ethernet коммутатор;</li> <li>- специально разработан для удовлетворения жестких требований, предъявляемых к системам автоматизации в энергетике (на силовых подстанциях) - стандарт IEC 61850-3 и IEEE1613; системах управления движением;</li> <li>- стандарт NEMA TS2 и железнодорожных применений - стандарт EN50121-4.</li> </ul>
<b>Гигабитный коммутатор</b>	<p>Сетевые возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- резервируемая избыточная Gigabit Ethernet кольцевая технология (время восстановления &lt; 300 ms);</li> <li>- IGMP Snooping и GMRP для фильтрации мультикастового трафика по индустриальному Ethernet протоколу;</li> <li>- поддержка IEEE 802.1Q VLAN и GVRP протоколов для упрощения сетевого планирования;</li> <li>- поддержка QoS-IEEE 802.1p/1Q и TOS/DiffServ;</li> <li>- поддержка 802.3ad, LACP для оптимизации использования полосы пропускания;</li> <li>- поддержка IEEE 802.1X и SSL для обеспечения сетевой безопасности;</li> <li>- поддержка SNMP V1/V2C/V3 для различного уровня безопасного управления.</li> </ul>

Субблок LBR осуществляет коррекцию по сигналам точного времени от приемника GPS глобальной системы спутниковой навигации и позиционирования для организации автономного режима работы системы управления дорожным движением с неограниченным количеством информационных узлов. Субблок ДТЦ-16 служит для подключения детекторов транспорта с целью адаптивного управления движением в зависимости от интенсивности транспортного потока, а так же для организации режима местного гибкого регулирования [72].

Субблок МСС позволяет осуществлять дистанционное сервисное обслуживание дорожных контроллеров, а также организовывать

координированное управление в составе ИТС с использованием сетей сотовой связи. Аналогичные функции выполняет субблок МЦ, который обеспечивает стыковку с внешними модемами для передачи данных по оптоволоконным линиям связи в случае, когда верхние уровни ИТС задают режимы работы дорожного контроллера, отличающиеся от 32-х стандартных программ его работы. Субблок МБР организует автономную работу периферийного оборудования по ближнему радиоканалу с использованием безлицензионного диапазона частот [26].

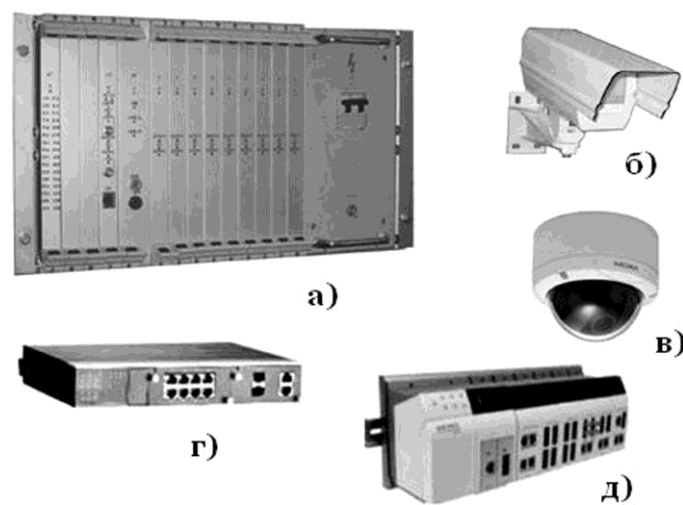


Рисунок 2.8 – Аппаратные средства дорожного мониторинга и управления движением: а) – дорожный контроллер, б) – детектор транспорта, в) – видеокамера купольного типа, г) – 100 мегабитный коммутатор, д) – гигабитный коммутатор

Дорожный контроллер производит сбор данных о характеристиках транспортного потока. С этой целью он взаимодействует с инфракрасными, индуктивными детекторами транспорта, а также с любыми другими, имеющими логический выход. Минимальное количество информационных каналов дорожного контроллера должно быть 32, чтобы обеспечить оперативную передачу параметров транспортного потока в единый диспетчерский центр, который организует адаптивное управление транспортом. Еще одна важная функция детекторов транспорта состоит в организации гибкого управления на заданном перекрестке (режим «МГР»).

Информация, полученная от детекторов транспорта, позволяет дорожному контролеру проводить вычисления, необходимые для следующего:

- определения возможных задержек;
- обнаружения заторов в движении транспорта;
- организации противозаторового управления на заданном перекрестке.

Дорожный контроллер обеспечивает подключение управляемых дорожных знаков, в том числе указателей скорости, по результатам анализа показаний детекторов транспорта. В дорожном контроллере для увеличения надежности работы предусмотрена многоступенчатая структура резервирования. ДК обеспечивает приоритетный пропуск общественного или спецтранспорта через устройство МБРВ по ближнему радиоканалу в безлицензионном диапазоне частот. ДК работает в системе с центром по GPRS, WI-FI, WI-MAX, CDMA, оптоволоконным каналам в протоколе TCP/IP и, по физическим линиям связи в протоколе АСС-УД.

Основными источниками оперативной информации, поступающей в дорожный контроллер, служат устройства дистанционного мониторинга, к числу которых относятся датчики движения и видеокамеры.

Датчики движения (рисунок 2.8, б)) регистрируют прохождение транспортного средства через сечение дороги, а так же определяют параметры транспортных потоков. Если датчики движения выдают нормированные по длительности сигналы при появлении транспортного средства в контролируемой детектором зоне, то они относятся к классу проходных детекторов. В свою очередь, детекторы присутствия выдают сигнал в течении всего времени, когда транспортное средство находится в контролируемой зоне. При этом датчики движения делятся на электромеханические, пневмоэлектрические, фотоэлектрические, радарные, ультразвуковые, оптические, поляризационные, ферромагнитные, индуктивные и пьезоэлектрические в зависимости от принципа действия чувствительного элемента, [71].

Поэтому для достижения наилучших результатов используется одновременно несколько технологий, например, пассивная инфракрасная и ультразвуковая или пассивная инфракрасная, ультразвуковая и радарная.

В качестве наиболее важных критериев при выборе детектора рассматриваются следующие показатели:

- количество зон детектирования для одного детектора, которое характеризует его разрешающую способность;
- измеряемые параметры транспортного потока, к которым относятся интенсивность движения, зависящая от средней скорости и доли времени, в течении которой контролируемые зоны оказываются занятыми, включая средний интервал времени между транспортными средствами в зоне и категории, по которым определяется состав потока;
- точность, с которой производятся измерения;
- особенности установки и настройки.

К числу наиболее распространенных детекторов транспорта относится пассивный инфракрасный детектор - PIR ДТ. Диапазон обнаружения (радиус действия) этого устройства составляет порядка 20 м. Возможность динамического управления позволяет использовать этот детектор для оптимизации транспортных потоков в местах установки светофоров.

Важную роль в задаче дорожного мониторинга играет система видеодетектирования, предназначенная для автоматического выявления и архивации дорожных правонарушений. Система позволяет следить за транспортной ситуацией и распознавать государственные номерные знаки транспортных средств, нарушающих правила движения. Ее также можно использовать для поиска угнанных автомобилей, контроля за проездом по полосам общественного транспорта, воспроизведения транспортного правонарушения с видеозаписи и т.д. Система видеодетектирования состоит из совокупности видеокамер, в состав которой входят обзорные и детальные камеры, и компьютера для оценивания изображения в реальном времени. Обычно используются видеокамеры купольного типа (см. рис. 2.8, в)), которые имеют

антивандальную защиту и предназначены для работы в жестких климатических условиях [70].

Видеокамера Мохы VPort 25, имеет максимальное разрешение 520 TVL и приспособлена как для дневного, так и ночного видеонаблюдения. МОХА VPort 25 специально сконструирована для работы в жестких климатических условиях, благодаря специальному IP66 исполнению - она защищена от попадания пыли и дождя. Кроме того, вандалоустойчивый дизайн обеспечивает ей надежную работу во внешних приложениях - специальный сенсор посылает аварийное сообщение, когда внешний корпус МОХА VPort 25 будет открыт. Не требует ни подогрева, ни охлаждения, что обеспечивает ей высокую надежность при работе в жестких климатических условиях. Кроме того, камера имеет резервируемое питание - как непосредственно от источника (12/24 VDC и 24 VAC), так и PoE (IEEE 802.3af). Используя ASIC контроллер компрессии, который обеспечивает видеопотоки до полного D1 (720 x 480) @ 30 FPS. Для более полного удовлетворения требований пользователей, МОХА VPort 25 поддерживает два типа кодеков - MJPEG и MPEG4. Имеется возможность “уплотнения” видеоинформации с использованием видеошифратора. Камеры передают свой сигнал с помощью технологии Wi-Fi, поэтому они подключаются к точке доступа Wi-Fi, такая же точка доступа может быть подключена непосредственно к коммутатору в распределительной сети. Так как нам необходимо соединить удаленные участки одной локальной сети, то нам необходимо соединение точка-точка (point-to-point), в качестве AP (access point) можно выбрать следующее устройство - AP5181 производства фирмы Motorola.

Коммуникационная среда информационных узлов ИТС в силу повышенных требований к ее надежности и безопасности имеет двухуровневую иерархическую структуру. Нижний уровень образуют сети доступа, построенные на основе 100 мегабитных коммутаторов (см. рис.2.8, г)).

Для построения распределительной сети, предлагается использовать 100 Мегабитные коммутаторы фирмы “Мохы”, а именно Мохы- РТ 7710. Этот коммутатор имеет следующие характеристики:

– МОХА PowerTransPT-7710 - 10 портовый Ethernet коммутатор;

- специально разработан для удовлетворения жестких требований, предъявляемых к системам автоматизации в энергетике (на силовых подстанциях) стандарт IEC 61850-3 и IEEE1613; а системах управления движением - стандарт NEMA TS2 и в железнодорожных применениях - стандарт EN50121-4.

- поддерживает Gigabit и Fast Ethernet бекбоны, резервируемое кольцо;
- имеет резервируемое питание - 24/48 VDC или 110/220 VDC/VAC для обеспечения высокой надежности связи.

Модульный дизайн MOXA PowerTrans PT-7710 позволяет достаточно просто и эффективно создавать сети любой сложности с возможностью установки в коммутатор до 2 Gigabit портов и 8 Fast Ethernet портов или только 10 Fast Ethernet портов.

Перечислим еще ряд важных особенностей этого оборудования.

- Поддержка IEEE 1588 PTP (Precision Time Protocol) для точной синхронизации сетей.

- Резервируемая избыточная Gigabit Ethernet кольцевая технология (время восстановления < 20 ms) и RSTP/STP (IEEE 802.1W/D).

- IGMP Snooping и GMRP для фильтрации мультикастового трафика по индустриальному Ethernet протоколу.

- Поддержка IEEE 802.1Q VLAN и GVRP протоколов для упрощения сетевого планирования.

- Поддержка QoS-IEEE 802.1p/1Q и TOS/DiffServ.

- Поддержка 802.3ad, LACP для оптимизации использования полосы пропускания.

- Поддержка IEEE 802.1X и SSL для обеспечения сетевой безопасности.

- Поддержка SNMP V1/V2C/V3 для различного уровня безопасного управления.

- Поддержка RMON для эффективного сетевого управления.

- ABC-01 для сохранения конфигурации.

- Широкополосное управление полосой пропускания для предохранения от непредсказуемого состояния устройств.



- Блокировка портов для только авторизованного доступа.
- «Зеркальные» порты для удобства отладки.
- Автоматические предупреждения об аварийных ситуациях по email и на релейных выходах.
- Конфигурирование с использованием Web browser, Telnet/Serial консоли, Windows утилит и ABC-01.

Каждая сеть доступа объединяет совокупность периферийных устройств, расположенных на ограниченной территории. В свою очередь, сети доступа подключаются к опорной сети с помощью гигабитных коммутаторов (см. рис. 2.8, д)). Эти коммутаторы, помимо функции передачи данных, обеспечивают также балансировку нагрузки, перераспределяя потоки данных между дорожными контроллерами и компьютерами второго и первого уровня иерархии ИТС [9], [27].

Для построения опорной сети наиболее подходят Гигабитные коммутаторы EDC-726 фирмы «Моха». Их сетевые возможности включают:

- резервируемая избыточная Gigabit Ethernet кольцевая технология (время восстановления < 300 ms);
- IGMP Snooping и GMRP для фильтрации мультикастового трафика по индустриальному Ethernet протоколу;
- поддержка IEEE 802.1Q VLAN и GVRP протоколов для упрощения сетевого планирования;
- поддержка QoS-IEEE 802.1p/1Q и TOS/DiffServ;
- поддержка 802.3ad, LACP для оптимизации использования полосы пропускания;
- поддержка IEEE 802.1X и SSL для обеспечения сетевой безопасности;
- поддержка SNMP V1/V2C/V3 для различного уровня безопасного управления.

Таким образом, рассмотренное оборудование позволяет реализовать все функции, возлагаемые на периферийные устройства информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС.

## 2.5. Результаты и выводы по второй главе

В данной главе были рассмотрены принципы разработки унифицированной архитектуры информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем. Представлено обоснование трехуровневой архитектуры информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем. Верхний уровень этой системы образует интегрированную информационную среду интеллектуального управления эксплуатацией транспорта. Второй уровень ИТС включает в свой состав вычислительные системы, предназначенные для решения основных функциональных задач. Третий уровень ИТС составляют пассивные и активные элементы.

Разработана методика отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем на базе CASE-технологии.

Разработана системная модель телематической платформы, которая базируется на IDEF0-технологии, предусматривающей построение иерархической системы диаграмм.

Рассмотрены принципы формирования программно-аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем на основе компонент высокой степени готовности.

Показаны особенности аппаратного состава периферийных устройств информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем.

### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИТС**

В состав предлагаемого алгоритмического и метрологического обеспечения информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС входит методика совершенствования аппаратного состава указанного комплекса, позволяющая оптимизировать его технические, эксплуатационные и экономические характеристики. Методика предусматривает решение двух взаимосвязанных задач: формирование критерия оптимальности, адекватного целям проектирования и выбор оптимальной проектной альтернативы из множества допустимых вариантов.

Важную роль в повышении безопасности дорожного движения играет выбор маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных. Предлагается алгоритм маршрутизации на основе векторного критерия эффективности и безопасности, который учитывает показатели качества автомобильных дорог, аварийности на различных участках транспортной сети, условия дорожного движения. Выбор оптимального маршрута базируется на методе уступок для нахождения компромисса между показателями дальности и безопасности.

Практическая значимость информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС во многом зависит от точности и надежности определения местоположения транспортного средства при его движении по маршруту. В связи с этим в данной главе предлагается методика, позволяющая существенно улучшить метрологические характеристики информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств. Методика обеспечивает гарантированную целостность навигационных определений и их высокую точность за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы.

### 3.1. Методика совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик

Процедура формирования оптимального аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса предусматривает решение двух задач:

- выбор и обоснование показателя, который позволяет оценивать адекватность проектных альтернатив задачам проектирования;
- поиск оптимального варианта из предложенной совокупности допустимых проектных альтернатив.

Таким образом, задача создания оптимального аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса интеллектуальной транспортной системы может быть сформулирована следующим образом: необходимо выбрать набор устройств, который позволит реализовать всю совокупность функций, возлагаемых на разрабатываемый комплекс, и окажется оптимальным с точки зрения векторного критерия эффективности.

Первое условие в сформулированной задаче оптимизации определяет ограничения, в рамках которых должна решаться оптимизационная задача. А второе – специфику выбора варианта, отвечающего заданным требованиям к тактико-техническим характеристикам разрабатываемых устройств. К числу таких характеристик относятся [28], [29]:

- суммарный объём изделия (*Objem*);
- масса изделия (*Massa*);
- цена изделия (*Price*);
- оценка эффективности работы (*Ozenka*).

Среди перечисленных показателей наименее формализованным является оценка эффективности работы. Этот показатель выступает в качестве экспертной оценки способности данного набора устройств выполнять заданные функции. Поскольку заданные функции у различных устройств различаются, то для того,

чтобы иметь возможность их сравнивать, была выбрана универсальная столбальная шкала [72].

Рассмотрим, вначале, исходную совокупность устройств, необходимых для реализации заявленных функций информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС. Эта совокупность, совместно с характеристиками, сведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Исходная совокупность устройств

Изделие	Наименование	Объем, м3	Масса, кг	Цена, руб.	Оценка эффективности работы
<b>Дорожный контроллер</b>					
1	ДК «Каскад» ДК Л2	0,084	35	33645	75
2	ДК «Каскад» ДК Л4	0,084	35	38718	80
3	ДК «Каскад» ДК Л6	0,084	35	43762	70
4	ДК «Каскад» ДК Л8	0,084	35	48804	95
<b>Детектор транспорта</b>					
1	DT 272 производства ASIM	0,026	1,6	12600	73
2	ТТ 262 производства ASIM	0,147	0,7	14000	85
3	IR 254 производства ASIM	0,0208	1,28	7392	77
<b>Видеокамера купольного вида</b>					
1	MSB-K1	0,0065	0,4	3150	85
2	RVi-123ME	0,0042	0,2	4000	77
3	MSB-K2	0,0065	0,4	2310	67
<b>100 мегабитный коммутатор</b>					
1	D-link DIR-100	0,0005	0,213	1620	77
2	D-Link DES-1005A	0,0002	0,120	4900	83
3	D-link DGS-1100-08	0,0005	0,42	4490	94
<b>Гигабитный коммутатор</b>					
1	Cisco SRW2008MP	0,0021	1,2	17130	78
2	D-link DES-3526	0,0040	2,56	16868	92
3	3COM Baseline Plus Switch 2952	0,0042	5	18361	71

Используя приведенную совокупность устройств, составим множество допустимых вариантов аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для ИТС. При этом следует учесть, чем больше сформировано возможных вариантов, тем больше вероятность получить наиболее качественное решение.

Специфика задачи оценки по векторному критерию состоит в том, что ее решение будет заведомо субъективным, поскольку аксиома В.Парето утверждает

невозможность, в общем случае, строгого математического доказательства существования максимально предпочтительного варианта по нескольким показателям.

#### Вариант 1.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л2
<i>Детектор транспорта</i>	DT 272 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K1
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DIR-100
<i>Гигабитный коммутатор</i>	Cisco SRW2008MP

#### Вариант 2.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л4
<i>Детектор транспорта</i>	ТТ 262 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-Link DES-1005A
<i>Гигабитный коммутатор</i>	D-link DES-3526

#### Вариант 3.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л6
<i>Детектор транспорта</i>	IR 254 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K2
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DGS-1100-08
<i>Гигабитный коммутатор</i>	3COM Baseline Plus Switch 2952

#### Вариант 4.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	DT 272 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K1
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DIR-100
<i>Гигабитный коммутатор</i>	Cisco SRW2008MP

#### Вариант 5.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	ТТ 262 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-Link DES-1005A
<i>Гигабитный коммутатор</i>	D-link DES-3526

#### Вариант 6.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	IR 254 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K2
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DGS-1100-08
<i>Гигабитный коммутатор</i>	3COM Baseline Plus Switch 2952

## Вариант 7.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	DT 272 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DGS-1100-08
<i>Гигабитный коммутатор</i>	D-link DES-3526

## Вариант 8.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л2
<i>Детектор транспорта</i>	ТТ 262 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	MSB-K2
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DGS-1100-08
<i>Гигабитный коммутатор</i>	3COM Baseline Plus Switch 2952

## Вариант 9.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л4
<i>Детектор транспорта</i>	DT 272 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-Link DES-1005A
<i>Гигабитный коммутатор</i>	Cisco SRW2008MP

## Вариант 10.

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	IR 254 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DIR-100
<i>Гигабитный коммутатор</i>	Cisco SRW2008MP

Чтобы получить максимально обоснованные оценки сформированных вариантов, необходимо при формулировке решающего правила учитывать объем объективной информации об используемых оценочных функциях. Как показывают исследования, этому требованию отвечает метод ранжирования вариантов по каждому отдельно взятому показателю, с последующим вычислением суммы рангов, которая принимается в качестве обобщенной оценочной функции. Исходя из сказанного выбор оптимального варианта будем осуществлять с использованием описанного метода обобщенных рангов.

Ранжирование начнем с расчета суммарных характеристик для каждого варианта.

$$Sum\_Massa_j = \sum_{k=1}^M Massa_k ; Sum\_Objem_j = \sum_{k=1}^M Objem_k ;$$

$$Sum\_Price_j = \sum_{k=1}^M Price_k ; Sum\_Ozenka_j = \sum_{k=1}^M Ozenka_k, (j = \overline{1, R}),$$

где  $M$  – число функциональных групп используемого оборудования,  $R$  – число сформированных вариантов аппаратного облика.

Результаты расчетов сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Суммарные характеристики

Вариант	Объем, м	Масса, кг	Цена, руб	Оценка эффективности
1	0,1188	38,323	68145	388
2	0,2396	38,68	79979	417
3	0,1163	42,2	76315	379
4	0,1191	38,413	83304	408
5	0,2394	38,58	88572	432
6	0,1164	42,1	81357	403
7	0,1187	39,78	86762	431
8	0,2423	41,52	72806	392
9	0,1165	38,12	77348	391
10	0,1116	37,893	78946	404

Проведем сортировку вариантов по каждому из выбранных критериев. В начале осуществим ранжирование по критерию эффективности (таблица 3.3).

Таблица 3.3. Ранжирование по оценке эффективности работы

Ранг	Вариант	Объем, м	Масса, кг	Цена, руб	Оценка эффективности
1	3	0,1163	42,2	76315	379
2	1	0,1188	38,323	68145	388
3	9	0,1165	38,12	77348	391
4	8	0,2423	41,52	72806	392
5	6	0,1164	42,1	81357	403
6	10	0,1116	37,893	78946	404
7	4	0,1191	38,413	83304	408
8	2	0,2396	38,68	79979	417
9	7	0,1187	39,78	86762	431
10	5	0,2394	38,58	88572	432

Вариант 5 оказался лучшим по выбранному показателю. Но он не является безусловно лучшим, так как уступает остальным вариантам по объёму, цене и массе.

Поэтому проведем сортировку по оставшимся критериям (таблицы 3.4-3.6).



Таблица 3.4. Ранжирование по массе

Ранг	Вариант	Объем, м	Масса, кг	Цена, руб	Оценка эффективности
1	3	0,1163	42,2	76315	379
2	6	0,1164	42,1	81357	403
3	8	0,2423	41,52	72806	392
4	7	0,1187	39,78	86762	431
5	2	0,2396	38,68	79979	417
6	5	0,2394	38,58	88572	432
7	4	0,1191	38,413	83304	408
8	1	0,1188	38,323	68145	388
9	9	0,1165	38,12	77348	391
10	10	0,1116	37,893	78946	404

Таблица 3.5. Ранжирование по объему

Ранг	Вариант	Объем, м	Масса, кг	Цена, руб	Оценка эффективности
1	8	0,2423	41,52	72806	392
2	2	0,2396	38,68	79979	417
3	5	0,2394	38,58	88572	432
4	4	0,1191	38,413	83304	408
5	1	0,1188	38,323	68145	388
6	7	0,1187	39,78	86762	431
7	9	0,1165	38,12	77348	391
8	6	0,1164	42,1	81357	403
9	3	0,1163	42,2	76315	379
10	10	0,1116	37,893	78946	404

Таблица 3.6. Ранжирование по цене

Ранг	Вариант	Объем, м	Масса, кг	Цена, руб	Оценка эффективности
1	5	0,2394	38,58	88572	432
2	7	0,1187	39,78	86762	431
3	4	0,1191	38,413	83304	408
4	6	0,1164	42,1	81357	403
5	2	0,2396	38,68	79979	417
6	10	0,1116	37,893	78946	404
7	9	0,1165	38,12	77348	391
8	3	0,1163	42,2	76315	379
9	8	0,2423	41,52	72806	392
10	1	0,1188	38,323	68145	388

Присвоим каждому варианту ранги согласно его положению в предыдущих таблицах (табл. 3.7). На основе полученных данных для каждого варианта находим суммарные ранги

$$Sum\_Rank_j = Rank\_Massa_j + Rank\_Objem_j + Rank\_Price_j + Rank\_Ozenka_j, \quad (j = \overline{1, R}).$$

Таблица 3.7. Суммарный ранг

№	Ранг массы	Ранг объема	Ранг цены	Ранг оценки эффективности	Суммарный ранг
1	8	5	10	2	25
2	5	2	5	8	20
3	1	9	8	1	19
4	7	4	3	7	21
5	2	3	1	10	16
6	5	8	4	5	22
7	4	6	2	9	21
8	3	1	9	4	17
9	9	7	7	3	26
10	10	10	6	6	32

Выбор оптимальной проектной альтернативы из множества допустимых вариантов осуществляется следующим образом

$$r = \arg \max_j Sum\_Rank_j, \quad (j = \overline{1, R}).$$

Таким образом находим, что оптимальным вариантом аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса является вариант 10, ранг которого, по сравнению с остальными вариантами, выше (таблица 3.8).

Таблица 3.8. Оптимальный состав аппаратуры информационно-измерительного и управляющего комплекса

<i>Дорожный контроллер</i>	ДК «Каскад» ДК Л8
<i>Детектор транспорта</i>	IR 254 производства ASIM
<i>Видеокамера купольного вида</i>	RVi-123ME
<i>100 мегабитный коммутатор</i>	D-link DIR-100
<i>Гигабитный коммутатор</i>	Cisco SRW2008MP

Представленный способ формирования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса на базе компонент высокой степени готовности позволяет устранить противоречия, возникающие при оптимизации технических, эксплуатационных и экономических показателей,

за счет использования метода обобщенных рангов, обеспечивающего получение объективно обоснованных компромиссных решений.

### **3.2. Метод контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных**

Рассмотрим метод решения задачи, связанной с нахождением маршрута движения по совокупности показателей, определяющих не только протяженность маршрута, но и ряд других важных характеристик, влияющих на безопасность движения. Дело в том, что большинство существующих автомобильных навигаторов в качестве основного показателя, определяющего оптимальность маршрута, использует расстояние между точками отправления и прибытия ИТС -  $\varepsilon_A$ . Несмотря на универсальный характер этого показателя, он не учитывает целый ряд критериев, определяющих эффективность выполнения транспортных операций. Исходя из сказанного рассмотрим метод маршрутизации, включающий комплекс показателей, учитывающих прагматическую ценность выбранного маршрута. Для комплексной оценки безопасности маршрута движения  $\varepsilon_B$  необходимо использовать показатели, которые имеют соответствующую шкалу измерения, и кроме того, информация о которых может быть представлена в базах данных цифровой карты дорожной сети. Этим условиям отвечают следующие величины, объединенные в векторный критерий безопасности маршрута [55]:

- показатель качества дорожной сети ( $\varepsilon_1$ );
- показатель опасности дорожной сети ( $\varepsilon_2$ );
- показатель влияния инфраструктуры ( $\varepsilon_3$ ).

В показатели качества дорожной сети входят величины, характеризующие свойства магистралей, важные с точки зрения участников дорожного движения. К числу таких показателей относятся разрешенная скорость движения, классы транспортных средств, разрешенных к движению по соответствующим магистралям с точки зрения допустимой осевой нагрузки, габаритов и грузоподъемности. Сюда же относятся величины, определяющие пропускную

способность автомагистрали, в частности количество полос движения, удобство и безопасность движения, например, наличие разделительных полос, многоуровневых развязок, а также оборудование дорожной сети указателями и информационными табло.

Учитывая высокую значимость перечисленных показателей с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения, регламент оценки качества дорожной инфраструктуры утверждается распоряжением Государственной службы дорожного хозяйства. В качестве основного методического документа, позволяющего оценивать уровень содержания автомобильных дорог, выступает отраслевой регламент ОДМ 218.0.000-2003.

Роль этого документа заключается в формировании правил, которые позволяют осуществлять инспекционный контроль и объективную оценку фактического состояния как отдельных участков транспортной сети, так всей дорожной сети соответствующего региона.

К числу параметров, которые являются объектами контроля, относятся следующие характерные элементы дорог:

- для участка дороги длиной 1 км: характер земляного покрытия, устройства для отвода воды, участки выполняющие роль охранных полос; элементы участка проезжей части дороги протяженностью в 1 км, совместно с имеющимися съездами: искусственные сооружения, предназначенные для обустройства придорожной инфраструктуры, включая озеленения дороги [66];

- участок дороги протяженностью в 1 км;
- автомобильная дорога или ее отдельный участок, имеющие самостоятельное значение;
- совокупность автомобильных дорог, образующих конкретную дорожную сеть.

Потребительские свойства автомобильных дорог зависят от их класса, которые делятся на следующие группы:

- автомагистрали;
- дороги, отнесенные к 1 категории;

- дороги, отнесенные к 2 категории;
- дороги, отнесенные к 3 категории;
- дороги, отнесенные к 4 и 5 категории с покрытиями из бетонно-битумных смесей;
- дороги, отнесенные к 4 и 5 категории с щебеночными, гравийными, песчано-щебеночными, песчано-гравийными покрытиями;
- грунтовые дороги.

При оценке качества состояния дорог в первую очередь учитывается количество дефектов содержания. С этой точки зрения уровни содержания дорог делятся на три категории: допустимый уровень, средний уровень и высокий уровень (табл. 3.9).

Таблица 3.9. Нормативные уровни содержания дорог

Уровень	Характеристика уровня содержания дорог
Допустимый	Содержание дороги обеспечивает допустимый уровень безопасности движения в соответствии с ГОСТ Р 50597-93 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям безопасности дорожного движения». Допускаются факты временного ограничения движения автотранспортных средств на отдельных участках по условиям их содержания. ДТП с сопутствующими неудовлетворительными дорожными условиями, зависящими от дефектов содержания дорог, отсутствуют. Допускается наличие не более 15 % (по протяженности) участков с не допустимым уровнем содержания.
Средний	Содержание дороги обеспечивает поддержание потребительских свойств автомобильной дороги на среднем уровне. Состояние конструктивных элементов зависящие от содержания не вызывают необходимость временного ограничения движения автотранспортных средств. ДТП с сопутствующими неудовлетворительными дорожными условиями, зависящими от дефектов содержания дорог, отсутствуют. Допускается наличие не более 10 % (по протяженности) участков с не допустимым уровнем содержания.
Высокий	Содержание дороги обеспечивает поддержание потребительских свойств автомобильной дороги на максимально возможном уровне, для фактически сложившегося транспортно-эксплуатационного состояния дороги. Автомобильная дорога и каждый ее конструктивный элемент содержится в состоянии, обеспечивающем круглосуточное, бесперебойное и безопасное движение автотранспортных средств. ДТП с сопутствующими неудовлетворительными дорожными условиями, зависящими от дефектов содержания дорог, отсутствуют. Не допускается наличие участков с не допустимым уровнем содержания.

Регламент предусматривает наличие ненормативного уровня содержания дорог, который соответствует качеству, недопустимому с точки зрения обеспечения безопасности движения [55].

Чтобы отнести дорогу или ее участок к тому или иному уровню содержания производится обследование каждого километра дороги с последующей группировкой выявленных дефектов по их объему и качеству, на основании чего выявленным дефектам присваивается оценка в баллах. Для каждого уровня содержания участков дорог оценка в баллах имеет следующий вид:

- недопустимому уровню содержания соответствует оценка в 2 балла;
- допустимому уровню содержания соответствует оценка в 3 балла;
- среднему уровню содержания соответствует оценка в 4 балла;
- высокому уровню содержания соответствует оценка в 5 баллов.

Проведенное обследование позволяет сформировать данные, необходимые для оценки фактического уровня качества содержания дорог:

- протяженность дороги в километрах –  $N$ ;
- протяженность дороги в километрах с недопустимым уровнем содержания, которому соответствует оценка в 2 балла –  $N_2$ ;
- протяженность дороги в километрах с допустимым уровнем содержания, которому соответствует оценка в 3 балла –  $N_3$ ;
- протяженность дороги в километрах со средним уровнем содержания, которому соответствует оценка в 4 балла –  $N_4$ ;
- протяженность дороги в километрах с высоким уровнем содержания, которому соответствует оценка в 5 баллов –  $N_5$ ; при этом  $N_5 = N - N_2 - N_3 - N_4$ .

Сформируем среднюю оценку уровня качества содержания автомобильной дороги или ее участка с использованием введенных показателей:

$$O_{cp} = \frac{N_2 \times 2 + N_3 \times 3 + N_4 \times 4 + N_5 \times 5}{N}.$$

Аналогично поступают при оценке фактического уровня качества содержания сети дорог.

Накопленный опыт достоверной оценки качества содержания автомобильных дорог служит основой для формирования обоснованного показателя векторного критерия безопасности.

Важное значение при выборе маршрута с учетом фактора безопасности движения имеет количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП). При этом следует учесть, что почти треть всех ДТП происходит из-за неудовлетворительного состояния дорог. В связи с этим количественная оценка показателя опасности дорожной сети должна учитывать те особенности участков дорог, которые характеризуются высокой вероятностью дорожно-транспортных происшествий:

- участки, которые характеризуются недостаточной устойчивостью движения из-за ограниченной видимости и резкого уменьшения скорости движения ТС при высокой интенсивности транспортного потока, что приводит к возможным наездам на впереди идущие транспортные средства;

- участки с условиями, приводящими к опрокидыванию транспортных средств или их съезду с дороги, вследствие того, что какой-либо элемент дороги не соответствует допустимым скоростям движения; к их числу относятся: участки со скользким покрытием на поворотах большого радиуса, участки с узким мостом в конце длинного прямого горизонтального отрезка дороги, участок с поворотом малого радиуса в конце затяжного спуска, участок, на котором происходит сужение дороги, участок со скользкими обочинами и т.д.

- участки, на которых из-за особенностей инфраструктуры в сочетании с погодными условиями возникает резкое изменение скорости движения по сравнению с остальной дорогой; к их числу относятся отрезки дорог с заниженным земляным полотном, участки, для которых характерны частые туманы, гололед, а также участки дорог вблизи промышленных предприятий, и т.д.;

- участки с длинными затяжными спусками, с сочетанием одиночных поворотов малого радиуса с многочисленными поворотами больших радиусов,

вследствие чего возникают условия, когда скорости внезапно могут превысить безопасные пределы;

- участки дорог с поворотами в зоне ограниченной видимости, либо с неожиданным поворотом в сторону второстепенной дороги, вследствие чего у водителя исчезает ориентировка или возникает неправильное представление о направлении движения;

- участки, где происходит слияние транспортных потоков на пересечениях дорог, съездах, или перекрещивание транспортных потоков на примыканиях и переходно-скоростных полосах;

- участки, на которых возникает возможность неожиданного появления пешеходов с автобусных остановок, площадок отдыха, торговых центров или транспортных средств с придорожной полосы;

- длинные прямые участки в степи, которые вызывают быстрое утомление и сонливость, или участки с однообразным придорожным ландшафтом, что способствует потере водителем контроля за скоростью движения.

Существующие способы оценки аварийности предполагают использование следующих величин – коэффициента относительной аварийности и коэффициента происшествий.

Показатель происшествий используется для оценки аварийности при движении по достаточно длинным и геометрически однотипным участкам транспортной сети. С учетом сказанного показатель происшествий рассчитывается как количество ДТП, приходящихся в год на 1 млн. автомобиле-километров:

$$K_{\Pi} = \frac{10^6 z}{365LS},$$

где  $z$  – число зафиксированных ДТП в год;  $(LS)$  – показатель, оценивающий интенсивность движения в автомобиле-километрах, при этом  $S$  – интенсивность движения, которая оценивается количеством автомобилей, проследовавших на данном участке транспортной сети в обоих направлениях в сутки (этот показатель рассчитывается по данным, полученным в течение года),  $L$  – длина участка



транспортной сети в км.

Что касается коротких отрезков транспортной сети, которые часто отличаются разнообразной инфраструктурой из-за наличия таких объектов как мосты, путепроводы, перекрестки и т.д., то рассмотренный ранее показатель оценивают только количеством ДТП на 1 млн. автомобилей, не учитывая в этом случае протяженность участка транспортной сети:

$$K_{II} = \frac{10^6 z}{365S} .$$

Приведенные формулы позволяют использовать объективные данные об аварийности на отдельных участках транспортной сети. При этом для повышения достоверности и состоятельности полученных статистических оценок необходимо провести ретроспективный анализ аварийности с периодом в 3–5 лет.

Анализ полученных данных о ДТП, а также анализ дорожной обстановки, включая скоростные графики движения, служат основанием для комплексной оценки, характеризующей прогнозируемую опасность движения по транспортной сети с использованием показателей безопасности [55].

Показатель безопасности для  $i$ -го участка транспортной сети рассчитывается следующим образом

$$K_i = \frac{V_{i\max}}{V_{i\text{нач}}},$$

здесь  $V_{i\max}$  -максимальная допустимая скорость движения на данном участке,

$V_{i\text{нач}}$  - скорость, с которой автомобили въезжают на данный участок.

При этом показатель аварийности зависит от значений, учитывающих воздействие основных элементов плана и профиля рассматриваемого участка транспортной сети в сравнении с участком, признанным эталонным. Характеристики эталонного участка: горизонтальный прямолинейный отрезок транспортной сети, покрытие имеет шероховатый характер, ширина проезжей части составляет 7,5 м, предусмотрено наличие укрепленных обочин шириной в 3,5 м.

Для перечисленных частных показателей выполняется условие независимости по предпочтению, поскольку они допускают снижение некоторых из них за счет повышения других. Вследствие этого для показателя аварийности справедливой является мультипликативная свертка следующего вида:

$$K_{ав} = \prod_{i=1}^R K_i,$$

где  $K_i$  – относительное число ДТП на  $i$ -ом участке транспортной сети.

Оценка условий движения ТС должна производиться с учетом следующих обстоятельств: интенсивность транспортного потока; возможное усложнение условий дорожного движения, в том числе из-за наличия общественного и специального транспорта; особенности, характеризующие дорожную инфраструктуру, к числу которых относятся транспортные развязки, регулируемые и нерегулируемые перекрестки и пешеходные переходы; работа большегрузного транспорта и гусеничного транспорта.

Объединить перечисленную совокупность оценочных функций необходимо с помощью комплексного показателя, который позволит оценить уровень безопасности движения по выбранному маршруту. Поскольку описанные оценочные функции являются независимыми по предпочтению, а также позволяют обеспечить заданный уровень безопасности при снижении какого-либо показателя за счет увеличения других показателей, то в качестве комплексного критерия можно использовать аддитивную свертку предварительно нормированных оценочных функций:

$$\varepsilon_B = c_1 \cdot \varepsilon_1 + c_2 \cdot \varepsilon_2 + c_3 \cdot \varepsilon_3.$$

Важное значение с точки зрения практической значимости введенного критерия имеет величина используемых весовых показателей. Для обоснованного назначения этих показателей необходимо провести экспертное ранжирование важности перечисленных отдельных составляющих с точки зрения безопасности дорожного движения.

### 3.3. Алгоритм поиска оптимального маршрута с использованием принципа последовательных уступок

Введенные критерии – критерий дальности  $\varepsilon_A$  и критерий безопасности  $\varepsilon_B$  позволяют сформировать векторный критерий. Оптимизация этого критерия служит основой для построения безопасного маршрута [55].

Как известно решение задачи векторной оптимизации может осуществляться двумя способами: по безусловному и условному критериям предпочтения. Первый способ гарантирует наиболее объективное решение задачи, но не позволяет находить единственный оптимальный вариант. При использовании второго способа множество оптимальных решений сокращается за счет введения субъективного предпочтения одних показателей перед другими. Эффективность используемого метода векторной оптимизации во многом зависит от того, насколько удачным оказывается компромисс между этими двумя способами. В данной работе подобный компромисс достигается за счет расширения множества маршрутов, оптимальных с точки зрения критерия дальности, с целью учета требований по безопасности [15], [17], [18].

Для достижения компромисса по векторному критерию предлагается процедура поиска оптимального маршрута на основе метода уступки. В качестве формального описания заданного участка дорожной сети используется взвешенный ориентированный граф. Особенностью этого графа является наличие весов двух видов – оценивающих протяженность соответствующего участка и его опасность. Вершинами этого графа служат точки пересечения дорог и улиц. В свою очередь ветвями служат участки транспортных магистралей, соединяющих соответствующие вершины. На рисунке 3.1 показан слой электронной карты, включающий участок дорожной сети и соответствующий ему ориентированный граф. Неориентированные ветви графа соответствуют улицам с двусторонним движением [58].

При описании алгоритма оптимизации будем использовать следующие обозначения. Множество вершин графа обозначим через  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , множество ветвей - через  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$ . Поскольку каждая ветвь графа соединит две вершины, то в описании ветвей будут входить соответствующие вершины  $y_r(x_i; x_j)$ .

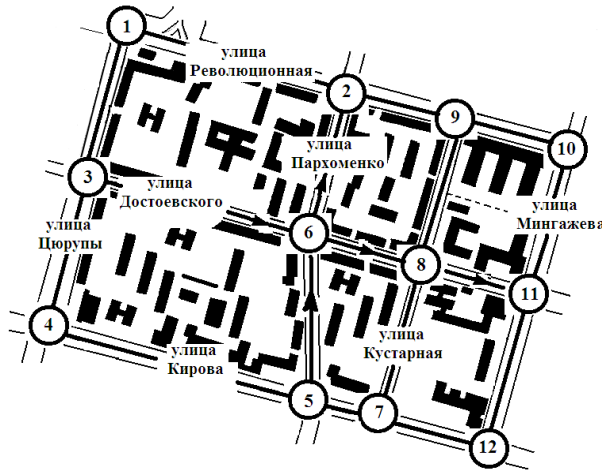


Рисунок 3.1 – Картооснова дорожной сети

Весами каждой ветви графа  $y_r(x_i; x_j)$  служат соответствующие значения векторного критерия  $\{\varepsilon_r^A(x_i; x_j), \varepsilon_r^B(x_i; x_j)\}$ . Таким образом, граф задает отображение вида  $\omega: Y \rightarrow E$ .

Маршрутом из вершины  $x_a$  в вершину  $x_b$  назовем последовательность вершин вида  $P = \{x_a, x_q, x_{q+1}, \dots, x_{q+g}, x_b\}$ . Этот маршрут задает путь в графе, являющийся простой ориентированной цепью, соединяющей соответствующие вершины.

Путь, совпадающий с некоторым путем  $P$  от вершины  $x_a$  до вершины  $x_i$ , а затем идущий к вершине, отличной от вершины  $x_{i+1}$  прежнего пути  $P$ , назовем отклонением  $P_i$  от пути  $P$  в точке  $x_i$ . Точка  $x_i$  делит путь  $P$  на две части. Часть пути до этой точки называется  $i$ -м корнем пути -  $R_i$ , а остальная часть отклонения, не совпадающая с исходным путем называется  $i$ -м ответвлением -  $S_i$ . Длина пути  $P$  рассчитывается по формуле:

$$L_P = \sum_{(x_i; x_j) \in P} \varepsilon_r^A(x_i; x_j). \quad (3.1)$$

В свою очередь показатель, оценивающий безопасность пути  $P$  вычисляется следующим образом:

$$V_P = \sum_{(x_i; x_j) \in P} \varepsilon_r^B(x_i; x_j). \quad (3.2)$$

Если путь удовлетворяет условию:

$$L_P = \min_{P(x_a; x_b)} L_P(x_a; x_b). \quad (3.3)$$

то он называется кратчайшим путем или путем минимальной длины.

Если длина пути отличается от минимальной на некоторую величину  $\delta$

$$L_P \leq \min_{P(x_a; x_b)} L_P(x_a; x_b) + \delta, \quad (3.4)$$

то этот путь называется кратчайшим путем с  $\delta$ -уступкой.

Предлагаемый алгоритм поиска маршрута, оптимального по введенному векторному критерию, использует метод последовательных уступок, в рамках которого осуществляется поиск кратчайших путей в графе с помощью алгоритмов Дейкстры и Йена. Согласно методу последовательных уступок алгоритм разбивается на два этапа. На первом этапе находится маршрут, оптимальный с точки зрения дальности  $\varepsilon_A$ . На втором этапе находятся все маршруты с заданной заранее  $\delta$ -уступкой. Решением задачи векторной оптимизации является маршрут с  $\delta$ -уступкой, которому соответствует максимальная величина критерия безопасности  $\varepsilon_B$ .

Определим множества, которые участвуют в описании предлагаемого алгоритма:

$L_\delta$  - множество, включающее кратчайшие пути с  $\delta$ -уступкой;

$L_T$  – множество, предназначенное для временного хранения кратчайших путей;

$M_T = [m(x_i)]_{1 \times N}$  - множество, включающее метки вершин графа;

$F = [f(x_i)]_{1 \times N}$  - аналогичное множество флагов вершин графа;

$\Gamma(x_i)$  – множество вершин графа, смежных с вершиной  $x_i$ ;

$\Pi(x_i)$  – множество отмеченных вершин графа.

Перейдем теперь к описанию алгоритма.

**Шаг 1.** Задание исходных данных  $k=1, \delta, S$  ( $S \geq \sum_{r=1}^M \varepsilon_r^A(x_i; x_j)$ ).

**Шаг 2.** Поиск кратчайшего пути  $P^k(x_a; x_b)$ .

**Шаг 2.1.** Задать  $m(x_a) = 0; f(x_a) = 1; m(x_i) = S; f(x_i) = 0$ , для тех, которые удовлетворяют неравенству  $x_i \neq x_a$ ; Включить  $x_a$  в множество  $\Pi(x_i)$ .

**Шаг 2.2.** Задать  $x_p = x_a$ .

**Шаг 2.3.** Если  $x_i \in \Gamma(x_p)$  и  $f(x_i) = 0$ , то

$$m(x_i) = \min \left[ m(x_i), m(x_p) + \varepsilon_r^A(x_p; x_i) \right]$$

**Шаг 2.4.** Для всех, удовлетворяющих условию  $f(x_i) = 0$ , находим

$$x_i^* = \arg[\min(m(x_i))].$$

**Шаг 2.5.** Задать  $x_p = x_i^*; f(x_i^*) = 1$ . Включить  $x_i^*$  в множество  $\Pi(x_i)$ .

**Шаг 2.6.** Если  $x_p \neq x_b$ , то идти к **шагу 2.3**, иначе идти к **шагу 3**.

**Шаг 3.** Добавить кратчайший путь  $P^k(x_a; x_b)$  в множество  $L_\delta$ .

**Шаг 4.** Задать  $k=k+1$ .

**Шаг 5.** Поиск всех отклонений  $P_i^k$  ( $k-1$ )-го кратчайшего пути  $P^{k-1}$  для всех  $i=1, 2, g_{k-1}$ , предусматривающий выполнение для каждого  $i$  шага с 6 -го по 9-й.

**Шаг 6.** Если  $i$ -й корень  $R_i^{k-1}$  пути  $P^{k-1}$  совпадает с аналогичными  $i$ -ми корнями  $R_i^j$  любого из  $P^j$  путей ( $j=1, 2, \dots, k-1$ ), то присвоить  $\varepsilon_r^A(x_i^{k-1}; x_{i+1}^j) = S$ .

**Шаг 7.** Поиск кратчайших ответвлений  $S_i^k$  от вершины  $x_i^{k-1}$  к  $x_b$ , за исключением вершины  $x_a, x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, \dots, x_i^{k-1}$ .

**Шаг 7.1.** Задать  $m(x_i^{k-1}) = 0; f(x_i^{k-1}) = 1; m(x_i) = S; f(x_i) = 0$ , для всех  $x_i \neq x_i^{k-1}$ ; включить  $x_i^{k-1}$  в множество  $\Pi(x_i)$ .

**Шаг 7.2.** Задать  $x_p = x_i^{k-1}$ .

**Шаг 7.3.** Для всех  $x_i \in \Gamma(x_p)$ , которые не принадлежат множеству  $x_a, x_1^{k-1}, \dots, x_i^{k-1}$ , и удовлетворяющих условию  $f(x_i) = 0$ , задать

$$m(x_i) = \min[m(x_i), m(x_p) + \varepsilon_r^A(x_p; x_i)].$$

**Шаг 7.4.** Для всех  $f(x_i) = 0$ , найти  $x_i^* = \arg[\min(m(x_i))]$ .

**Шаг 7.5.** Задать  $x_p = x_i^*; f(x_i^*) = 1$ . Включить  $x_i^*$  в множество  $\Pi(x_i)$ .

**Шаг 7.6.** Если  $x_p \neq x_b$ , то идти к **шагу 7.3**, иначе получили множество  $\Pi(x_i)$ .

**Шаг 7.7.** Если множество  $\Pi(x_i)$  не пустое, то идти к **шагу 8**, иначе к **шагу 12**.

**Шаг 8.** Найти отклонение  $P_i^k$ , объединив  $i$ -й корень  $R_i^k$  с кратчайшим ответвлением  $S_i^k$  и включить  $P_i^k$  в множество  $M_T$ .

**Шаг 9.** Задать прежние значения  $\varepsilon_r^A(x_i^{k-1}; x_{i+1}^j)$ , идти к **шагу 6**.

**Шаг 10.** Поиск кратчайшего пути в множестве  $M_T$ . Если  $l_p \leq l^* + \delta$ , то обозначить этот путь  $P^k$  и включить его в множество  $L_\delta$ .

**Шаг 11.** Идти к **шагу 4**.

**Шаг 12.** Для всех  $P^k \in L_\delta$  рассчитать величину:

$$V_{P^k} = \sum_{(x_i; x_j) \in P^k} \varepsilon_r^B(x_i; x_j).$$

**Шаг 13.** Поиск пути с максимальным уровнем безопасности

$$(P^k)_{opt} = \arg \left[ \max_{P^k \in L_\delta} V_{P^k} \right].$$

**Шаг 14.** Конец.

Трудоёмкость предложенного алгоритма оценивается в  $O(N^3)$  операций. Это вызывает затруднение при его реализации на бортовом компьютере ТС. Поэтому актуальной является задача использования современных информационных технологий, включая «облачные» сервисы, позволяющие обслуживать многочисленных участников дорожного движения в реальном масштабе времени.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма рассмотрим пример поиска оптимального маршрута для участка транспортной сети, изображенного на рисунке 3.2 [55].

Рассматриваемый участок транспортной сети можно описать с помощью графа, содержащего 12 вершин и 17 ветвей. Среди ветвей графа присутствуют ориентированные ветви, которые соответствуют улицам с односторонним движением, и неориентированные ветви, что соответствует улицам с двухсторонним движением.

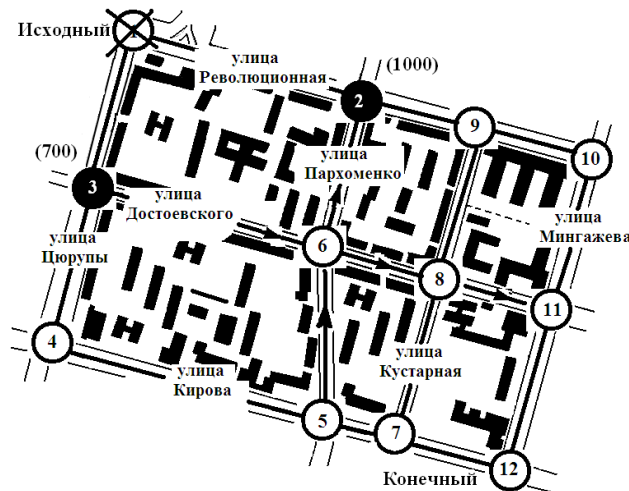


Рисунок 3.2 – Процедура поиска оптимального маршрута с использованием динамически настраиваемых слоев электронной карты

Характеристики участков дорожной сети, соответствующие их протяженностям и характеристикам безопасности движения приведены в таблице 3.10. Эти характеристики задают значения весов ветвей, отвечающих введенным критериям  $\epsilon_A$  и  $\epsilon_B$ .

Таблица 3.10. Характеристики элемента дорожной структуры

№	Участок дороги	$\epsilon_A$ , м	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\epsilon_B$
1.	1-2	1000	1.000	1.000	0.620	0.962
2.	2-9	900	0.306	0.492	0.417	0.429
3.	9-10	400	0.184	0.472	0.671	0.406
4.	1-3	700	0.255	0.544	0.747	0.478
5.	3-4	500	0.370	0.580	0.367	0.496
6.	3-6	900	0.380	0.270	0.367	0.313
7.	6-8	400	0.194	0.126	0.165	0.150
8.	8-11	450	0.300	0.125	0.290	0.194



9.	4-5	1300	0.560	0.976	0.443	0.798
10.	5-7	100	0.143	0.215	0.241	0.196
11.	7-12	400	0.184	0.376	0.367	0.318
12.	2-6	800	0.360	0.262	0.544	0.320
13.	6-5	1000	0.370	0.297	0.202	0.309
14.	8-7	600	0.245	0.031	0.367	0.129
15.	9-8	750	0.300	0.029	0.544	0.162
16.	10-11	700	0.194	0.147	1.000	0.246
17.	11-12	500	0.194	0.162	0.823	0.238

Найдем оптимальный маршрут из вершины 1в вершину 12. Рисунки 3.2 и 3.3 иллюстрируют процедуру поиска маршрута минимальной длины. Найденный маршрут проходит через вершины графа: 1-3-6-8-11-12 и характеризуется протяженностью  $\varepsilon_A = 2950$  м, а также критерием безопасности  $\varepsilon_B = 1.373$ .

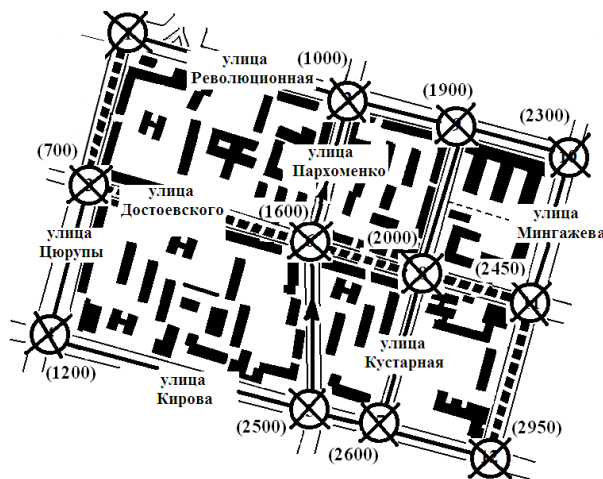


Рисунок 3.3 – Результат поиска кратчайшего маршрута

Чтобы оптимизировать безопасность маршрута, задаем уступку в 10% от длины от найденного маршрута, и находим все маршруты с заданной уступкой. Для этого используем алгоритм Йена. Согласно принятой стратегии ищем маршрут, оптимальный по критерию безопасности  $\varepsilon_B$ . В условиях приведенного примера получилось, что найденный ранее маршрут является безусловно лучшим [44].

Использование изложенной методики оптимизации маршрутов движения по векторному критерию расширяет возможности ИТС за счет использования цифровой карты дорожной инфраструктуры с динамически настраиваемыми

слоями данных, отражающими оперативную информацию о дорожной обстановке, включая интенсивность транспортного потока и возникающие дорожно-транспортные происшествия. Преимущество предложенного алгоритма заключается в способности учитывать отмеченные факторы путем эквивалентного увеличения длины соответствующего участка [5].

### **3.4. Методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы**

Перспективы использования спутниковых навигационных систем (СНС) в качестве основного средства высокоточной оперативной навигации в значительной мере зависят от величины предельного уровня погрешностей, который может быть обеспечен при измерении навигационных параметров (НП). СНС, несмотря на свои очевидные преимущества, не всегда обеспечивают требуемую точность позиционирования, а в ряде случаев могут оказаться неработоспособными [80].

Наибольшее распространение получило навигационное оборудование, использующие глобальные спутниковые навигационные системы NavStar (GPS) и ГЛОНАСС.

Системы GPS и ГЛОНАСС имеют сходную архитектуру. В их состав входят космический сегмент, состоящий из 24 спутников, сеть наземных станций наблюдения за их работой и пользовательский сегмент (навигационные приемники) [83]. Все спутники GPS/ГЛОНАСС являются автономными. Параметры их орбит периодически контролируются сетью наземных станций слежения, с помощью которых (не реже 1-2 раза в сутки) регистрируются отклонения спутников от расчетных траекторий движения и определяется собственное время бортовых часов [71].

Следует отметить, что эксплуатация приемников спутниковой навигации на наземном транспорте связана с целым рядом негативных факторов, влияющих на целостность и точность навигационных измерений.

Проведем анализ причин возникновения ошибок, связанных с геометрией используемых созвездий [84]:

- величина погрешности определения местоположения ТС, получившая название HDOP, оценивает уровень воздействия ошибки при вычислении горизонтальных координат;
- аналогично величине погрешности, связанной с ошибкой вычисления горизонтальных координат, вводится величина VDOP, определяющая воздействие ошибки в вертикальной плоскости;
- важную роль в оценке местоположения ТС играет ошибка измерения псевдодальности, связанная с отмеченными ранее ионосферными, тропосферными и прочими погрешностями; эта величина обычно обозначается PDOP;
- несмотря на использование в системах спутниковой навигации высокоточных атомных часов, погрешность в их показаниях приводит к значительному снижению точности позиционирования ТС; эта погрешность оценивается величиной TDOP;
- перечисленные факторы имеют абсолютный характер; однако для устранения мгновенных ошибок используют усреднение погрешностей на определенном временном интервале, как правило длительностью в 60 с., в результате чего получают так называемый относительный фактор RDOP.

Как отмечалось в первой главе, на точность навигационных определений существенное влияние оказывают следующие факторы:

- ошибки в определении эфемерид НИСЗ, связанные с изменением их расчетных орбит, а также с погрешностями временных шкал;
- погрешности, связанные с различным коэффициентом преломления сигнала при прохождении через атмосферу Земли;

– погрешность, связанная с интерференцией сигналов, поступающих непосредственно от НИСЗ и отраженных от поверхности Земли (многолучевость распространения сигналов);

– погрешности аппаратуры потребителя, включая погрешности аппаратуры и программного обеспечения.

При использовании беззапросного квазидальномерного способа информация о псевдодальностях должна поступать от четырех НИСЗ, поскольку неизвестными величинами являются не только пространственные координаты ТС, но и неизвестный сдвиг шкалы времени потребителя относительно системного времени. В связи с этим для расчета неизвестных величин составляется система из четырех уравнений:

$$\begin{aligned}
 D_1 &= \sqrt{(X_A - X_1)^2 + (Y_A - Y_1)^2 + (Z_A - Z_1)^2} + cT + \delta D_1 \\
 D_2 &= \sqrt{(X_A - X_2)^2 + (Y_A - Y_2)^2 + (Z_A - Z_2)^2} + cT + \delta D_2 \\
 D_3 &= \sqrt{(X_A - X_3)^2 + (Y_A - Y_3)^2 + (Z_A - Z_3)^2} + cT + \delta D_3 \\
 D_4 &= \sqrt{(X_A - X_4)^2 + (Y_A - Y_4)^2 + (Z_A - Z_4)^2} + cT + \delta D_4
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

где  $X_A, Y_A, Z_A$  – искомые координаты ТС в прямоугольной геоцентрической системе координат,  $X_i, Y_i, Z_i$  – координаты  $i$ -го спутника в той же системе координат,  $T$  – сдвиг бортовой шкалы времени,  $\delta D_i$  – погрешность определения  $i$ -ой псевдодальности,  $c$  – скорость распространения радиосигнала.

Следовательно, для решения навигационной задачи достаточно четырех спутников, находящихся в зоне радиовидимости потребителя. Однако величина отмеченных погрешностей существенно зависит от взаимного расположения задействованных спутников и потребителя. Поэтому часто предлагается выбирать оптимальную конфигурацию созвездия навигационных спутников, для которой влияние всей совокупности погрешностей измерения на точность вычисления координат объекта оказывается минимальным [59]. Это достаточно сложная задача, потому что положение спутников по разному влияет на величину погрешностей. Оптимальной геометрией обладает созвездие, при котором один из спутников находится в зените, а три других располагаются вблизи горизонта. При этом созвездие образует тетраэдр с максимальным объемом. В тоже время

спутник, расположенный в зените, обеспечивает максимальное значение ионосферных и тропосферных погрешностей, а пригоризонтные спутники вносят вклад в погрешности от многолучевого распространения сигнала. В связи с этим оптимальная конфигурация созвездия ищется на основе компромисса между величинами погрешностей от геометрических, атмосферных и прочих факторов.

Таким образом поиск оптимальной конфигурации созвездия связан с перебором большого числа возможных вариантов. Оценка каждого такого варианта требует достаточно больших временных затрат, которые зависят от следующих операций: поиск навигационного сигнала и синхронизация с передаваемой им псевдослучайной последовательностью, что составляет – 5с, аналогичные манипуляции по отношению к несущим колебаниям занимают 2 с, операции с меандром делятся 1 с, выделение цифровой информации после очередной метки времени потребует 32 с, что в целом составляет порядка 40 с. Еще большие затраты возникают в случае обновления альманаха, которое само по себе составляет 2,5 мин.

В связи с этим на практике выбирается первая найденная работоспособная конфигурация, даже если она заведомо не обеспечивает оптимального качества навигационных измерений. Для повышения надежности и достоверности навигационных измерений в данной работе предлагается использовать концепцию «все в небе», т.е. использовать все спутники, находящиеся в зоне радиовидимости потребителя. В этом случае результирующая погрешность конечно может оказаться хуже, чем в случае использования оптимального созвездия НИСЗ, но заведомо лучше, чем в случайно выбранной неоптимальной конфигурации. Основная проблема, возникающая при реализации данного алгоритма, связана с обеспечением совместности переопределенной системы уравнений, составленной относительно искомым координат транспортного средства.

Запишем систему нелинейных алгебраических уравнений (3.5) для некоторого созвездия, состоящего из  $N$  спутников, в следующем виде:

$$f_i(X_A, Y_A, Z_A, T) = 0, \quad (3.6)$$

где  $f_i(X_A, Y_A, Z_A, T)$  – погрешность в определении координат ТС.

Эта погрешность рассчитывается на основе данных о псевдодальности по задержке получения сигнала от  $i$ -го спутника, и точного расстояния от транспортного средства до соответствующего спутника, которое зависит от геоцентрических координат ТС  $X_A, Y_A, Z_A$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ , где  $N$  – количество задействованных спутников.

Для решения системы уравнений (3.6) предлагается использовать модифицированный метод Ньютона-Рафсона. Этот метод позволяет находить решение с требуемой точностью за конечное число итераций. Пусть  $x^{(k)}$  – вектор неизвестных величин, полученный на  $k$ -той итерации вычислительного процесса. Раскладывая функции  $f_i$  в ряд Тейлора относительно точки  $x^{(k)}$  и пренебрегая слагаемыми, содержащими отклонения высших порядков, получаем следующую систему уравнений:

$$J(f^{(k)}) \left( x^{(k+1)} - x^{(k)} \right) = -f(x^{(k)}). \quad (3.7)$$

Здесь  $f(x^{(k)}) = [f_i(X_A, Y_A, Z_A, T)]_{N \times 1}$ ,  $J(f^{(k)})$  – матрица Якоби от  $f(x)$  размерности  $N \times 4$ , вычисленная в точке  $x^{(k)}$ .

Система (3.7) имеет множество решений вида:

$$x^{(k+1)} = J^+(f^{(k)}) \left( J(f^{(k)}) x^{(k)} - f(x^{(k)}) \right) + \left( I_4 - J^+(f^{(k)}) J(f^{(k)}) \right) v, \quad (3.8)$$

где  $I_4$  – единичная матрица размерности  $4 \times 4$ ,  $v$  – произвольный вектор размерности 4,  $J^+(f^{(k)})$  – псевдообратная (полуобратная) матрица, для которой справедливо соотношение  $J(f^{(k)}) J^+(f^{(k)}) J(f^{(k)}) = J(f^{(k)})$ .

В самом деле, умножим систему (3.9) слева на матрицу  $J^+(f^{(k)})$ :

$$J^+(f^{(k)}) J(f^{(k)}) \left( x^{(k+1)} - x^{(k)} \right) = -J^+(f^{(k)}) f(x^{(k)}) \quad (3.9)$$

и прибавим к левой и правой частям этого уравнения  $x^{(k+1)}$ . Перенесем из левой части полученного уравнения все слагаемые, за исключением  $x^{(k+1)}$ , в правую часть и после группировки получаем:

$$x^{(k+1)} = J^+(f^{(k)}) \left( J(f^{(k)}) x^{(k)} - f(x^{(k)}) \right) + \left( I_4 - J^+(f^{(k)}) J(f^{(k)}) \right) x^{(k+1)}.$$

Таким образом, полученное решение принадлежит к (3.9).

Обратное утверждение проверяется непосредственной подстановкой решения (3.9) в систему (3.8):

$$J(f^{(k)})[J^+(f^{(k)})(J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)})) + (I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))v - x^{(k)}] = -f(x^{(k)}) \text{ или} \\ [(J(f^{(k)})x^{(k)} - J(f^{(k)})J^+(f^{(k)})f(x^{(k)})) + (J(f^{(k)}) - J(f^{(k)}))v - J(f^{(k)})x^{(k)}] = -f(x^{(k)}).$$

После сокращения и приведения подобных членов, получаем:

$$(I_4 - J(f^{(k)})J^+(f^{(k)}))f(x^{(k)}) = 0.$$

Для доказательства справедливости последнего равенства умножим систему (3.9) слева на выражение  $(I_4 - J(f^{(k)})J^+(f^{(k)}))$ :

$$(I_4 - J(f^{(k)})J^+(f^{(k)}))J(f^{(k)})(x^{(k+1)} - x^{(k)}) = -(I_4 - J(f^{(k)})J^+(f^{(k)}))f(x^{(k)}),$$

в результате получаем

$$(J(f^{(k)}) - J(f^{(k)}))(x^{(k+1)} - x^{(k)}) = -(I_4 - J(f^{(k)})J^+(f^{(k)}))f(x^{(k)}) = 0.$$

Из множества решений (3.9) выберем единственное, минимизирующее длину вектора  $x^{(k+1)}$ . Данное требование позволяет получать эффективные оценки координат транспортного средства для заданной совокупности случайных значений измеренных псевдодальностей, поскольку минимизирует разброс рассчитанных координат.

Для этого рассмотрим выражение:

$$\begin{aligned} |x^{(k+1)}|^2 &= (x^{(k+1)})^T x^{(k+1)} = |J^+(f^{(k)})(J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)}))|^2 + \\ &+ |(I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))v|^2 + (x^{(k)})^T J^+(f^{(k)})J(f^{(k)})(I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))v + \\ &- (f(x^{(k)}))^T (J^+(f^{(k)}))^T (I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))v + \\ &+ v^T (I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))J^+(f^{(k)})J(f^{(k)})x^{(k)} - \\ &- v^T (I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))J^+(f^{(k)})f(x^{(k)}) = \\ &= |J^+(f^{(k)})(J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)}))|^2 + |(I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))v|^2 + \\ &+ (x^{(k)})^T (J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}) - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))v - \\ &- (f(x^{(k)}))^T ((J^+(f^{(k)}))^T - (J^+(f^{(k)}))^T (J(f^{(k)}))^T (J^+(f^{(k)}))^T) v + \\ &+ v^T (J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}) - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))x^{(k)} - \\ &- v^T (J^+(f^{(k)}) - J^+(f^{(k)}))f(x^{(k)}) = \\ &= |J^+(f^{(k)})(J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)}))|^2 + |(I_4 - J^+(f^{(k)})J(f^{(k)}))v|^2. \end{aligned}$$

Очевидно, что

$$\begin{aligned} |x^{(k+1)}| &\geq |J^+(f^{(k)}) (J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)}))| \text{ и} \\ |x^{(k+1)}| &= |J^+(f^{(k)}) (J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)}))| \text{ при } v \equiv 0. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что искомое решение имеет вид:

$$x^{(k+1)} = J^+(f^{(k)}) (J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)})). \quad (3.10)$$

Покажем теперь, что  $J^+(f^{(k)}) = \left( (J(f^{(k)}))^T J(f^{(k)}) \right)^{-1} (J(f^{(k)}))^T$ . В самом деле, согласно определению псевдообратной матрицы

$$J(f^{(k)}) J^+(f^{(k)}) J(f^{(k)}) = J(f^{(k)}) \left( (J(f^{(k)}))^T J(f^{(k)}) \right)^{-1} (J(f^{(k)}))^T J(f^{(k)}) = J(f^{(k)}).$$

Таким образом, окончательное выражение для решения системы (3.10) принимает вид:

$$\begin{aligned} x^{(k+1)} &= \left( (J(f^{(k)}))^T J(f^{(k)}) \right)^{-1} (J(f^{(k)}))^T (J(f^{(k)})x^{(k)} - f(x^{(k)})) = \\ &= x^{(k)} - \left( (J(f^{(k)}))^T J(f^{(k)}) \right)^{-1} (J(f^{(k)}))^T f(x^{(k)}). \end{aligned} \quad (3.11)$$

Однако, учитывая, что система (3.10) плохо обусловлена из-за влияния большого числа погрешностей на матрицу  $J(f^{(k)})$ , а также необходимость решения этой системы многократно на борту в реальном времени, целесообразно использовать более эффективную вычислительную схему. Поскольку матрица  $J^T(f^{(k)})J(f^{(k)})$  является симметричной и положительно определенной, то наиболее предпочтительным является вариант метода LU-факторизации, получивший название метода квадратного корня (метода Холецкого).

В этой схеме матрица  $A = J^T(f^{(k)})J(f^{(k)})$  раскладывается следующим образом  $A = LL^T$ , где  $L$  – нижняя треугольная матрица размера  $4 \times 4$ , элементы которой находятся по рекуррентным формулам

$$l_{ii} = \sqrt{a_{ii} - \sum_{p=1}^{i-1} l_{ip}^2}; \quad l_{ji} = \left( a_{ji} - \sum_{p=1}^{i-1} l_{ip} l_{jp} \right) / l_{ii}; \quad i, j = \overline{1, 4}; \quad j > i. \quad (3.12)$$

Вводя вектор вспомогательных переменных  $w$ , система (3.10) трансформируется в совокупность уравнений вида

$$Lw = -J^T(f^{(k)})f(x^{(k)}), \quad L^T(x^{(k+1)} - x^{(k)}) = w. \quad (3.13)$$



Так как обе системы имеют в левой части треугольные матрицы, то их решения легко находятся методом обратной подстановки.

Дальнейшее развитие этого подхода связано с реализацией дифференциальных схем позиционирования на основе использования информационно-телекоммуникационных технологий сотовой связи GSM (GPRS/SMS) и спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS) [68].

Для устранения большинства из перечисленных помех предлагается использовать локальную радионавигационную систему (ЛРНС), построенную с помощью наземных псевдоспутников [90], [91]. Псевдоспутниками называют наземные станции, излучающие сигнал, схожий по параметрам с сигналом GPS/ГЛОНАСС, который может быть принят обычным навигационным приемником. Преимущества использования псевдоспутников заключается в следующем: повышенная точность позиционирования за счет реализации дифференциального режима навигационных измерений, а также за счет геометрически оптимального размещения псевдоспутников, повышенная мощность сигнала, за счет чего многократно повышается устойчивость к непреднамеренным искусственным помехам. Метод дифференциальной навигации использует примерное постоянство основных погрешностей СНС, что позволяет исключить их во времени и в пространстве. Это обеспечивает высокую точность позиционирования не только в стационарных условиях, но и в динамическом режиме. С этой целью используются поправки, которые формируются опорными станциями с точной геодезической привязкой к местности.

В этом случае потребитель получает не только навигационные сигналы, но и поправки с опорной станции, которые автоматически корректируют рассчитанные координаты ТС.

Поясним механизм использования дифференциального режима с помощью рисунка 3.4.

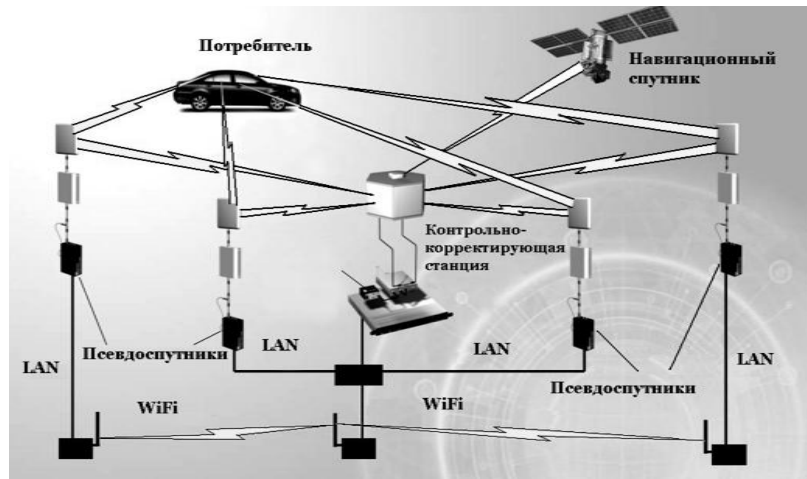


Рисунок 3.4 – Структура системы локальной навигации на основе псевдоспутников

Сеть наземных передающих станций включает контрольно-корректирующую станцию (ККС) и совокупность псевдоспутников (ПС). При этом ККС должна быть геодезически точно привязана к принятой системе координат (ПЗ-90 или WGS-84). Разности  $\Delta_i^{KCC} = D_i - D_i^{KCC}$  между измеренными ККС псевдодальностями  $D_i$  и рассчитанными в ККС значениями псевдодальностей

$$D_i^{KCC} = \sqrt{(X_{KCC} - X_i)^2 + (Y_{KCC} - Y_i)^2 + (Z_{KCC} - Z_i)^2} + cT, \quad (3.14)$$

где  $X_{KCC}$ ,  $Y_{KCC}$ ,  $Z_{KCC}$  – прямоугольные координаты ККС в геоцентрической системе координат, по линиям передачи данных (ЛПД) передаются в виде дифференциальных поправок ПС, в которых они вычитаются из измеренных ими псевдодальностей

$$D_{ij}^{Kop} = D_{ij} - \Delta_i^{KCC}. \quad (3.15)$$

Здесь  $D_{ij}^{Kop}$  – скорректированная псевдодальность между  $i$ -м навигационным спутником и  $j$ -м ПС,  $D_{ij}$  – аналогичная величина для измеренных псевдодальностей. Точность определения места и времени в дифференциальном режиме в значительной степени зависит от точности измерений радионавигационных параметров в ККС и аппаратуре потребителя, от расстояния

между ККС и потребителем, от возраста поправок, а также от геометрических факторов.

Использование в качестве псевдоспутников базовых станций сотовой связи позволяет оптимизировать работу системы локальной навигации и улучшить зону её покрытия. Базовые станции обычно располагают на крышах зданий и вышках. Они располагают всеми возможностями для передачи навигационных сигналов. Передача сигналов может осуществляться в диапазоне L1, L2 ГЛОНАСС, поскольку излучение на литерах 8-12 не используется в данное время спутниками ГЛОНАСС, на военной частоте GPS (L2) с использованием кодовой модуляции с кодами L1 или собственных кодов GPS. Также может быть организована передача сигналов на любой другой частоте с использованием внешнего конвертора частот. При подключении к системе внешнего конвертора частот (для чего у системы имеется выход опорного генератора частоты 10 МГц) имеется возможность излучения на любой другой частоте [68].

В качестве линий передачи данных целесообразно использовать как электрические кабели различных типов, так и беспроводную сеть, основанную на стандарте «Wi-Fi». Система обмена данными может быть организована как локальная вычислительная сеть (LAN, Local Area Network), которая позволяет организовать не только передачу дифференциальных поправок от ККС к ПС, но и обеспечить обратную связь между ПС и ККС для подстройки псевдоспутников и осуществления их мониторинга [68].

К локальной вычислительной сети предъявляются следующие требования:

- высокая скорость передачи информации, большая пропускная способность сети;
- низкий уровень ошибок передачи данных, допустимая вероятность таких ошибок должна быть порядка  $10^{-8}$  -  $10^{-12}$ ;
- эффективный, быстродействующий механизм управления обменом по сети.

Современные технические средства обеспечивают скорость передачи данных не менее, чем 100 Мбит/с, при этом активно разрабатываются, а кое-где уже используются, каналы, работающие на скорости 1000 Мбит/с и выше.

Особое значение имеет такая характеристика сети ЛРНС, как возможность работы с большими нагрузками, то есть с высокой интенсивностью обмена, а также возможность обеспечения связи на расстоянии нескольких десятков километров.

В тех местах, где развёртывание кабельной системы невозможно или экономически нецелесообразно, предлагается использовать средства мобильного Интернета – Wi-Fi и WiMAX, а также и мобильной связи – GPRS, поскольку при определённых условиях скорость работы такой сети уже превышает 100 Мбит/сек. В частности стандарт IEEE 802.11n, утверждённый в 2009 году, способен обеспечить скорость передачи данных до 480 Мбит/с.

Контроль целостности навигационных измерений в системе локальной навигации на основе псевдоспутников производится не только средствами ККС, но и непосредственно на борту транспортного средства потребителя. С этой целью могут использоваться рассмотренные ранее алгоритмы контроля целостности навигационных определений, в том числе для дифференциального режима позиционирования.

### **3.5. Результаты и выводы по третьей главе**

В данной главе решена задача разработки алгоритмического и метрологического обеспечения информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем. При решении этой задачи были получены следующие результаты.

1. Разработана методика совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик.

2. Обоснован метод контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных, позволяющими включать в число оценочных функций следующие показатели: качество состояния автомобильных дорог, аварийность на участках дорог и условия дорожного движения.

3. Предложен принцип векторной оптимизации маршрута движения ТС с использованием метода последовательных уступок в сочетании с алгоритмами Дейкстры и Йена поиска путей в графе.

4. Разработана методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений в рамках концепции «все в небе» и локальной радионавигационной системы, построенной с помощью наземных псевдоспутников.

## **ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО И УПРАВЛЯЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ «СПУТНИК»**

В данной главе проводится оценка эффективности информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем с использованием имитационной модели «Спутник», предназначенной для отработки и испытаний информационно-измерительных и управляющих систем спутниковой навигации. Имитационная модель «Спутник» позволяет исследовать возможности ГНСС ГЛОНАСС с точки зрения улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной среды.

Обосновывается выбор программной системы Delphi 5 в качестве рабочей среды для проекта «Спутник», которая позволяет разрабатывать сложные программы за счет встроенных объектно-ориентированных средств и визуальных средств программирования.

Рассматриваются сценарии моделирования системы позиционирования ТС, предусматривающие использование концепции «все в небе», дифференциального метода позиционирования и наземной инфраструктуры в виде локальных радионавигационных полей.

### **4.1. Состав имитационной модели «Спутник»**

Имитационная модель «Спутник» предназначена для моделирования глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС. Модель реализована в ОС Windows, что обуславливает следующие преимущества [77]:

– возможность разрабатывать сложные программы за счет встроенных объектно-ориентированных средств и визуальных средств программирования;

- многозадачный режим работы, что позволяет организовать взаимодействие нескольких проектов с помощью специального программного модуля;
- гибкая настройка параметров расчета при переходе к новым исходным данным;
- многооконный режим работы, позволяющий отображать требуемые группы данных в специальных окнах с динамическим перемещением последних в рабочей зоне программы, что обеспечивает дружелюбный интерфейс пользователя.

Имитационная модель «Спутник» моделирует радионавигационное поле орбитальной группировки ГЛОНАСС, включающей в себя три сегмента: космический сегмент; сегмент управления – наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой НКА; сегмент НАП – аппаратуры пользователей. В связи с этим имитационная модель системы ГЛОНАСС состоит из моделей ее сегментов и модели случайных факторов.

Помимо моделирования основной функции ГНСС – глобальной оперативной навигации приземных подвижных объектов, имитационная модель «Спутник» позволяет моделировать локальную высокоточную навигацию наземных подвижных объектов на основе дифференциальных методов навигации с применением стационарных наземных корректирующих станций и НКА, а также навигацию на основе наземной инфраструктуры в виде локальных радионавигационных полей [53], [54].

Имитационная модель сегмента НАП воспроизводит процесс приема сигналов ГЛОНАСС аппаратурой пользователей, их обработки, измерения и определения радионавигационных параметров (псевдодальность и приращение псевдодальности или псевдоскорость), вычисления геоцентрических координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и на их основе – геодезических координат и высоты над опорным эллипсоидом в системе координат ПЗ-90.

Как отмечалось ранее, измерение псевдодальности связано с множеством случайных факторов, влияющих на погрешность измерений. Эти факторы

объединяются в следующие группы: геометрические факторы (влияние инструментальных погрешностей измерения псевдодальности и сдвиг шкалы времени на точность позиционирования объекта), факторы, обусловленные ионосферными и тропосферными погрешностями, а также факторы, связанные с низкой мощностью навигационных сигналов и погрешностями бортовой аппаратуры.

Имитационная модель космического сегмента глобальной спутниковой навигационной системы представляет собой массив координат всех 24 спутников, входящих в систему (таблица 4.1).

Таблица 4.1. Координаты НКА орбитальной группировки ГЛОНАСС

№ спутника	В полярной системе координат		В декартовой системе координат		
	$\varphi$	$\theta$	X	Y	Z
1	0	0	0	0	25500
2	0	45	18031,22	0	18031,22
3	0	90	25500	0	1,56E-12
4	0	135	18031,22	0	-18031,2
5	0	180	3,12E-12	0	-25500
6	0	225	-18031,2	0	-18031,2
7	0	270	-25500	0	-4,68E-12
8	0	315	-18031,2	0	18031,22
9	120	15	-3299,94	5715,669	24631,11
10	120	60	-11041,8	19125	12750
11	120	105	-12315,6	21331,17	-6599,89
12	120	150	-6375	11041,82	-22083,6
13	120	195	3299,943	-5715,67	-24631,1
14	120	240	11041,82	-19125	-12750
15	120	285	12315,55	-21331,2	6599,886
16	120	330	6375	-11041,8	22083,65
17	240	30	-6375	-11041,8	22083,65
18	240	75	-12315,6	-21331,2	6599,886
19	240	120	-11041,8	-19125	-12750
20	240	165	-3299,94	-5715,67	-24631,1
21	240	210	6375	11041,82	-22083,6
22	240	255	12315,55	21331,17	-6599,89
23	240	300	11041,82	19125	12750
24	240	345	3299,943	5715,669	24631,11



Исходя из того соображения, что случайные факторы, влияющие на точность измерения, поддаются нормальному распределению, имитационную модель случайных факторов можно описать следующим образом:

$$\Delta_D = \delta \cdot \varepsilon,$$

где  $\Delta_D$  – погрешность определения псевдодальности,  $\delta$  – среднее квадратическое отклонение,  $\varepsilon$  – случайная составляющая.

В языке программирования Delphi для вычисления случайной составляющей  $\varepsilon$  используется функция RandG. Описание этой функции содержится в модуле Math.pas, поставляемом в основном комплекте Delphi 5.

Рассмотрим более подробно спецификации основных модулей: Methods.pas, Main.pas, NR Computation.pas

Спецификация файла Methods.pas содержит описания переменных, процедур и функций, реализующих вычислительные алгоритмы, используемые при решении навигационной задачи.

<b>Описание типов данных</b>	
Полярные координаты спутника	<i>TPolarCoord</i> = record <span style="float: right;"><i>Fi, Teta:</i></span> <i>Double;</i> <i>end;</i>
Декартовы координаты спутника	<i>TCoord</i> = record <span style="float: right;"><i>X, Y, Z:</i></span> <i>Double;</i> <i>end;</i>
Массив декартовых координат спутников	<i>TCoords</i> = array of <i>TCoord</i> ;
«Полные» координаты спутника (добавляется смещение шкалы времени T)	<i>TCoordTime</i> = record <i>Coord: TCoord;</i> <i>T: Double;</i> <i>end;</i>
Массив «полных» координат спутников	<i>TCoordsTime</i> = array of <i>TCoordTime</i> ;
Дальность до ТС от спутника	<i>TDist</i> = record <i>Item: integer;</i> <span style="float: right;">-</span> номер спутника <i>Dist: Double;</i> <span style="float: right;">-</span> дальность до ТС

	<i>end;</i>
Массив дальностей до ТС от всех спутников	<b><i>TADist</i></b> = arrayof <i>TDist</i> ;
Массив погрешностей вычисления псевдодальностей для всех спутников	<b><i>TPogreshn</i></b> = array of Double;
Тип «Матрица» - двумерный массив	<b><i>TMatrix</i></b> = array [1..100] of array [1..100] of Double;
Тип «Функция» - вектор значений функций	<b><i>TFunct</i></b> = array [1..100] of Double;
Тип «Исходные данные»	<b><i>TFirstData</i></b> = record <b><i>PolarCoords</i></b> : arrayof <i>TPolarCoord</i> ; - полярные координаты спутников <b><i>Sigma</i></b> : <i>TPogreshn</i> ; - погрешности определения псевдодальностей <b><i>R_orbit</i></b> : Double; - радиус орбиты космического сегмента <b><i>Coords</i></b> : <i>TCoords</i> ; - декартовы координаты спутников <b><i>CoordTS</i></b> : <i>TCoordTime</i> ; - «полные» координаты ТС <b><i>CountOfSputniks</i></b> : integer; - количество спутников для расчета <b><i>NRCoordTS</i></b> : <i>TCoordTime</i> ; - исходные значения координат для метода Ньютона-Рафсона <b><i>CountOfExperiments</i></b> : integer; - количество экспериментов для полного расчета <i>end;</i>
Тип «Расчетные данные»	<b><i>TCompData</i></b> = record <b><i>Distances</i></b> :arrayofDouble; - множество расстоянийот всех спутников до ТС в порядке их нумерации <b><i>MinDist</i></b> : <i>TADist</i> ; - множество

	<p>расстояний в порядке возрастания дальностей от спутников до ТС</p> <p><b>PseudoDist:</b> <i>TADist;</i> - множество псевдорасстояний до ТС от автоматически выбранных спутников</p> <p><b>ManualPseudoDist:</b> <i>TADist;</i></p> <p>- массив псевдодальностей до ТС от выбранных вручную спутников</p> <p><b>CoordTS:</b> <i>TCoordsTime;</i></p> <p>- массив результатов итераций метода Ньютона-Рафсона</p> <p><b>N_Step:</b> <i>integer;</i></p> <p>- номер итерации</p> <p><b>ExpCoordTS:</b> <i>TCoordsTime;</i></p> <p>- массив рассчитанных значений координат ЛА для многоэкспериментного расчета</p> <p><b>Eps:</b> <i>arrayofDouble;</i></p> <p>- массив погрешностей</p> <p><b>AverCoordTS:</b> <i>TCoordTime;</i></p> <p>- средние значения координат для многоэкспериментного расчета</p> <p><b>SKOCoordTS:</b> <i>TCoordTime;</i></p> <p>-среднеквадратические отклонения для каждой координаты для многоэкспериментного расчета</p> <p><i>end;</i></p>
Тип «Данные проекта»	<p><b>TProjectData</b> = <i>record</i></p> <p><b>FirstData:</b> <i>TFirstData;</i></p> <p>- начальные значения</p> <p><b>CompData:</b> <i>TCompData;</i></p> <p>- результаты расчетов</p> <p><i>end;</i></p>
<b>Описание функций</b>	
Преобразование размерности в полярной	<i>function DegToRad(Angle: Double): Double;</i>

системе координат	
Преобразование системы координат	<i>function PolarToDecart</i> ( <i>Fi, Teta, R: Double</i> ): <i>TCoord</i> ;
Перевод координат из декартовой СК в полярную СК	<i>function DecartToPolar</i> ( <i>X, Y, Z: Double</i> ): <i>TPolarCoords</i> ;
Вычисление расстояния между двумя точками в трехмерном пространстве	<i>function Distance</i> ( <i>Crd1, Crd2: TCoord</i> ): <i>Double</i> ;
Результатом следующей функции является массив из <i>Count</i> элементов, которые соответствуют наименьшим расстояниям от точки с координатами <i>Crd1</i> до точек с координатами, записанными в массиве <i>Crd2</i>	<i>function MinDistance</i> ( <i>Crd1: TCoord; Crd2: TCoords; Count: integer</i> ): <i>TADist</i> ;
Вычисление псевдодальности между ТС ( <i>Crd1</i> ) и спутником ( <i>Crd2</i> )	<i>function PseudoDistance</i> ( <i>Crd1, Crd2: TCoord; T: Double</i> ): <i>Double</i> ;
Вычисление матрицы, обратной матрице <i>Matr. Nm</i> – рангматрицы	<i>function InverseMatrix</i> ( <i>Matr: TMatrix; Nm: integer</i> ): <i>TMatrix</i> ;
Вычисление итерации метода Ньютона-Рафсона. <i>CT_0</i> – исходные значения координат	<i>SpCoord</i> – массив координат спутников <i>PDist</i> – массив псевдодальностей до выбранных спутников <i>CountOfSp</i> – количество спутников для расчета <i>Sigma</i> – массив погрешностей <i>function NyutonRafson</i> ( <i>CT_0: TCoordTime; SpCoord: TCoords; PDist: TADist; CountOfSp: integer; Sigma: TPogreshn</i> ): <i>TCoordTime</i> ;
Вычисление матрицы, равной произведению матриц <i>M1</i> и <i>M2</i>	<i>function MultiplicationMatrix</i> ( <i>M1, M2: TMatrix</i> ): <i>TMatrix</i> ;
Вычисление среднего значения координат из массива координат	<i>CoordsTime</i> <i>function Average</i> ( <i>CoordsTime: TCoordsTime</i> ): <i>TCoordTime</i> ;
Вычисление среднеквадратического отклонения для каждой координаты	<i>CoordsTime</i> – массив координат <i>AvCT</i> – средние значения координат

	<i>function SKO(CoordsTime: TCoordsTime; AvCT: TCoordTime): TCoordTime;</i>
Поиск максимального элемента в массиве <i>a</i>	<i>function GetMax(a: array of Double): Double;</i>
<p>Файл Main.pas – главный модуль программы. Содержит процедуры и функции, используемые для разработки гибкого динамического интерфейса.</p> <p>Описание типов данных</p>	<p>Тип – класспроекта</p> <p><b>TProject</b> = class</p> <p><b>ProjectData</b>: TProjectData; - данные проекта (тип TProjectData описан в файле Methods.pas)</p> <p><b>FDataForm</b>: TFirstDataForm; - обращение к файлу «Координаты спутников» (файл Coords.pas)</p> <p><b>CoordTSForm</b>: TCoordTSForm; - обращение к файлу «Координаты ТС» (файл CoordTS.pas)</p> <p><b>SigmaForm</b>: TSigmaForm; - обращение к файлу «Среднеквадратические отклонения» (файл EnterSigma.pas)</p> <p><b>NRfdataForm</b>: TNRFfirstDataForm; - ссылка на форму «Исходные значения координат для метода Ньютона-Рафсона» (файл NRfData.pas)</p> <p><b>DistanceForm</b>: TDistanceForm; - обращение к файлу «Дальности и псевдодальности до спутников» (файл Distances.pas)</p> <p><b>NRCompForm</b>: TNRCCompForm; - обращение к файлу «Расчет координат ЛА методом Ньютона-Рафсона» (файл NRComputation.pas)</p> <p><b>GraphForm</b>: TGraphForm; - обращение к файлу «Графический отчет» (файл GraphData.pas)</p> <p><b>ReportForm</b>: TReportForm; - обращение к файлу «Статистический отчет» (файл</p>

	<i>Report.pas)</i> <i>end;</i>
<b>Описание переменных</b>	
главная форма	<i>var</i> <i>MainForm: TMainForm;</i>
Массив проектов (экземпляров <i>TProject</i> )	<i>Projects: array of TProject;</i>
количество проектов	<i>CountOfProj,</i>
номер текущего проекта	<i>CurrentProj: integer;</i>
метод выбора спутников для расчета (по умолчанию - автоматический)	<i>AutoChooseMethod: Boolean=True;</i>
<b>Описание процедур</b>	
Перевод координат всех спутников из полярной СК в декартовую СК.	<i>procedure CompCoords(var ProjectData: TProjectData);</i>
Вычисление дальностей и псевдодальностей от спутников до ТС	<i>procedure CompDistances(var ProjectData: TProjectData);</i>
Создание нового проекта	<i>procedure CreateNewProject(ProjectData: TProjectData);</i>
Добавление проекта в дерево проектов на форме «Инспектор проектов»	<i>procedure AddNewProjectToTree;</i>
модуль программы, который предназначен для работы с формой «Расчет координат методом Ньютона-Рафсона».	Файл NRComputation.pas

Взаимодействие перечисленных модулей показано на рисунке 4.1.

Имитационная модель «Спутник» позволяет моделировать сценарии взаимодействия с ГНСС ГЛОНАСС. Использование ОС Windows, позволяет упростить общение пользователя с программными средствами модели за счет следующего:

- наличие контекстного меню, универсальной панели инструментов и «актуальных» клавиш обеспечивает легкий доступ к требуемой группе данных;
- многозадачный режим работы, реализуемый инспектором проектов позволяет параллельно выполнять расчеты в нескольких проектах;

– ввод новых исходных данных не требует перезапуска программы, а обеспечивает своевременное изменение параметров расчета.

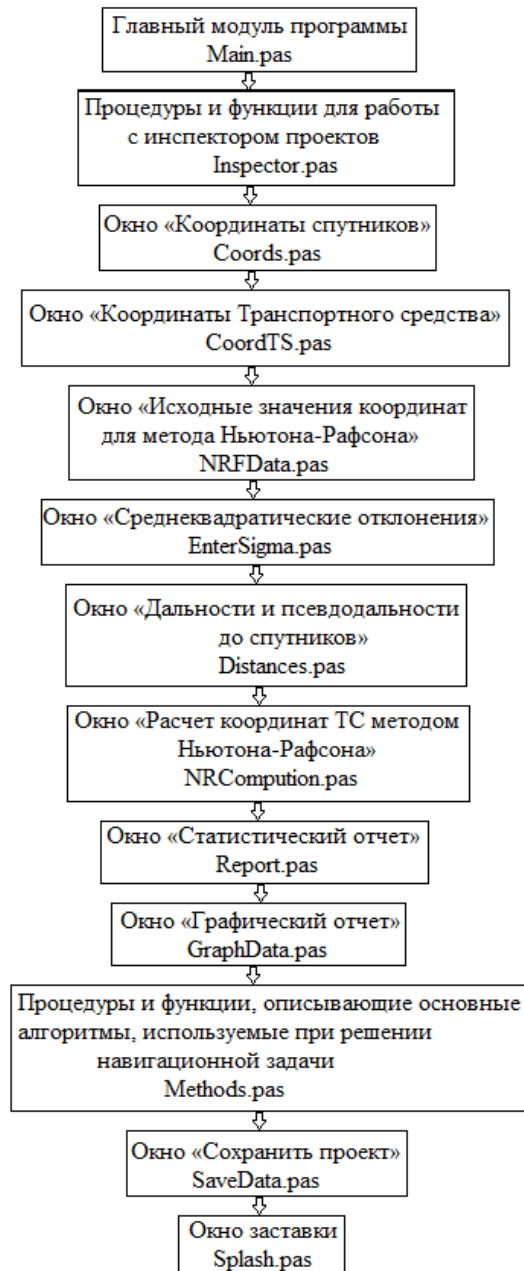


Рисунок 4.1 – Взаимодействие модулей имитационной модели

Успешному взаимодействию пользователя с программой способствует свободное оформление рабочего пространства, предусматривающее фиксацию заданных групп данных в соответствующих окнах одновременно со свободным перемещением этих данных по рабочей области программы, а также широкие возможности для протоколирования результатов имитационного моделирования,

которые предусматривают численное и графическое представление как исходных данных, так и результатов расчетов, а также их хранения в памяти компьютера.

Пользовательский интерфейс имитационной модели «Спутник» обеспечивает пошаговый контроль процедуры вычислений, включая контроль каждой итерации в случае однократного расчета и применительно к случаю многократного эксперимента – контроль каждого эксперимента и каждой его итерации.

Перейдем теперь к более детальному описанию пользовательского интерфейса имитационной модели «Спутник».

## 4.2. Описание пользовательского интерфейса имитационной модели «Спутник»

Файловая структура имитационной модели содержит:

- головной модуль программы, обеспечивающий ее загрузку –sputnik.exe;
- рабочие файлы программы, реализующие отдельные сценарии (проекты).

На рисунке 4.2 показано главное окно имитационной модели, которое содержит панель инструментов.

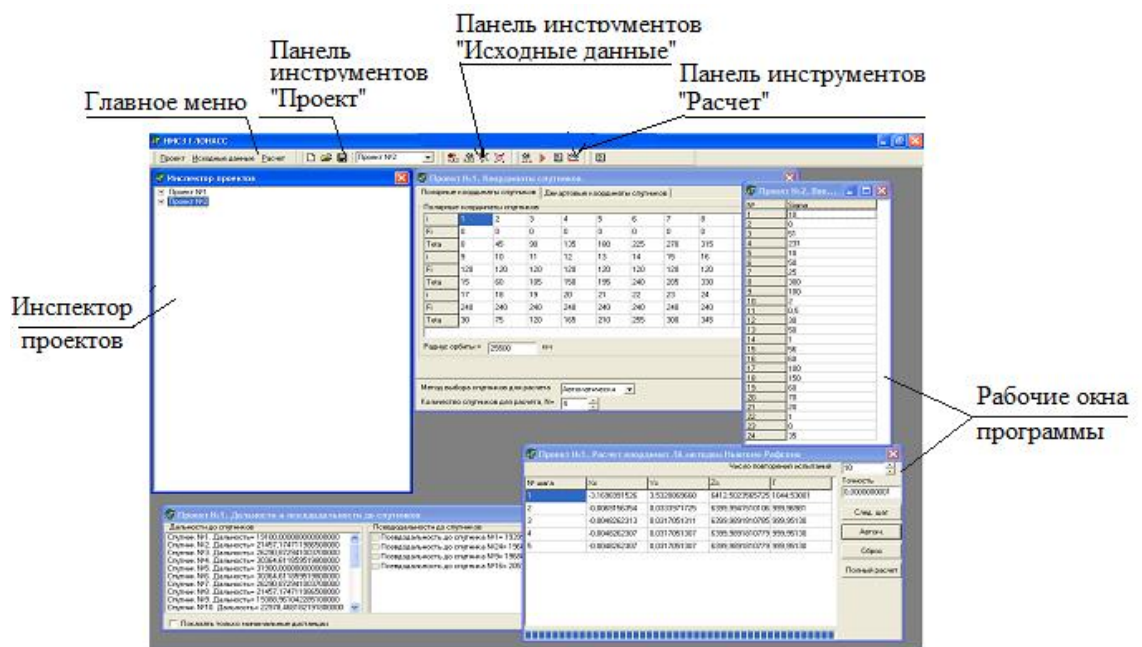


Рисунок 4.2 – Главное окно имитационной модели

Пользовательский интерфейс имитационной модели «Спутник» обеспечивает дружественное взаимодействие с ее программными средствами, которое



организуется следующими инструментами: контекстным меню, универсальной панелью инструментов и «актуальными» клавишами, которые обеспечивают простой и оперативный доступ к данным путем манипулирования с кнопками и колесиком мыши [60].

Опишем назначение функциональных клавиш быстрого доступа.

Как показано на рисунке 4.2 функциональные клавиши разделены на группы в соответствии с функциональными панелями.

Функциональная панель «Проект», представленная на рисунке 4.3, используется для ускорения работы с файлами проектов.

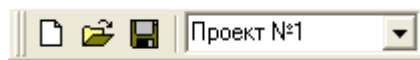


Рисунок 4.3 – Функциональная панель «Проект»

Функциональное назначение клавиш панели инструментов «Проект» представлено в таблице 4.2.

Функциональная панель «Исходные данные» обеспечивает доступ и редактирование данных навигационной задачи, включая координаты спутников, транспортного средства, начальные значения координат и допустимые погрешности расчетов. Вид этой панели показан на рисунке 4.4.

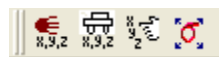






Рисунок 4.4 – Функциональная панель «Исходные данные»

Таблица 4.2. Назначение клавишей функциональной панели «Проект»

Вид кнопки	Название	Функции
	Новый проект	Создание нового проекта с данными о космическом сегменте системы.
	Открыть проект	Считывание исходных и расчетных (если расчет производился) данных из файла.
	Сохранить проект	Сохранение выбранной группы данных в файл
	Текущий проект	Выбор проекта из списка созданных или открытых проектов для работы с ним.

В таблице 4.3 представлено описание функций, выполняемых клавишами функциональной панели «Исходные данные».

Таблица 4.3. Назначение клавишей панели инструментов «Исходные данные»

Вид кнопки	Название	Функции
	Координаты спутников	Вывод на рабочий экран окна таблиц координат НИСЗ в полярной и декартовой СК
	Координаты транспортного средства	Вывод и редактирование координат транспортного средства
	Исходные значения координат для расчета	Вывод и редактирование исходных значений координат ТС для нулевой итерации расчета
	Погрешности	Вывод и редактирование таблицы погрешностей определения псевдодальностей





Функциональная панель «Расчет» обеспечивает доступ к данным, получаемым в ходе расчета. Облик функциональной панели «Расчет» показан на рисунке 4.5. В таблице 4.4 дано описание клавишей этой функциональной панели.



Рисунок 4.5 – Функциональная панель «Расчет»

Поле программного модуля «Инспектор проектов», показанное на рисунке 4.6, обеспечивает быстрый доступ к заданным группам данных.

Таблица 4.4. Назначение клавиш функциональной панели «Исходные данные»

Вид кнопки	Название	Функции
	Дальности и псевдодальности	Вывод рассчитанных дальностей и псевдодальностей до спутников
	Расчет	Вывод окна расчета навигационных параметров методом Ньютона – Рафсона
	Статистический отчет	Вывод рассчитанных данных по всем проведенным экспериментам
	Графики	Графическое представление статистического отчета

В название окон входит наименование проекта, обеспечивающее удобную работу с данными.

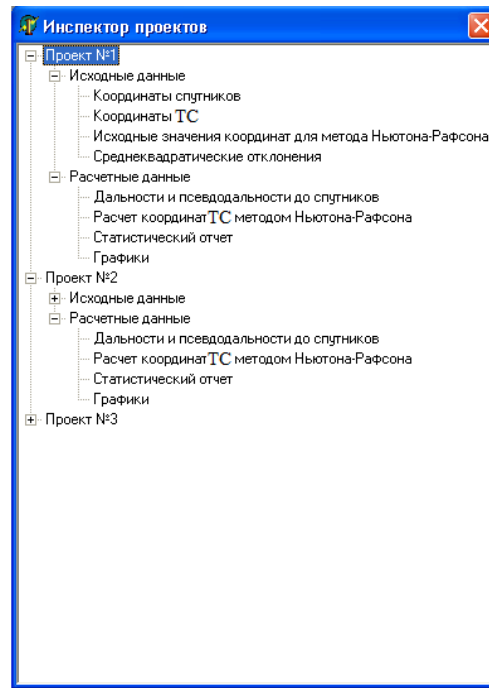


Рисунок 4.6 – Окно «Инспектор проектов»

Важной особенностью диалогового окна «Инспектор проектов» является его подвижность и динамические возможности для того, чтобы занимать желаемое место в рабочем пространстве программы.

В каждом проекте, включенном в окно «Инспектор проектов», содержится описание исходных данных, которые используются при решении соответствующей навигационной задачи. К числу этих данных относятся: местоположение спутников в геоцентрической системе координат, аналогичная информация о транспортном средстве, начальное приближение, используемое при решении навигационной задачи с использованием метода Ньютона-Рафсона, требуемая точность решения, заданная в виде среднеквадратического отклонения.

Чтобы просматривать и редактировать перечисленные данные им выделено соответствующее диалоговое окно. Опишем содержание таких окон, реализованных в рамках имитационной модели «Спутник».

Наиболее детальная информация содержится в окне «Координаты спутников», показанном на рисунке 4.7. В первую очередь речь идет о так называемых эфемеридных данных, передаваемых спутниками системы ГЛОНАСС – координаты НИСЗ, действительный радиус орбиты каждого из

спутников с учетом поправок, обусловленных неоднородностью силы притяжения Земли и другими возмущающими факторами. Далее здесь содержатся данные, определяющие сценарий решения навигационной задачи – принцип, по которому осуществляется выбор созвездия спутников, а также количество спутников, выбранных в соответствии с принятым способом поиска оптимального созвездия.



Рисунок 4.7 – Окно «Координаты спутников»

Поскольку в представленной имитационной модели используются координаты как в прямоугольной, так и в полярной системе координат, то соответствующая информация выдается в двух закладках диалогового окна «Координаты спутников».

Как отмечалось выше, сценарий решения навигационной задачи определяет способ, каким выбираются спутники для расчета. Если сценарий предусматривает выбор спутников, расположенных наиболее близко к транспортному средству, то программа автоматически назначает номера спутников, информация от которых будет использоваться для расчета координат транспортного средства. Если сценарий решения навигационной задачи предусматривает другой способ выбора спутников, то в программе предусмотрен ручной режим. Особенности ручного режима будут рассмотрены ниже.

На рисунке 4.8 представлено диалоговое окно, предназначенное для просмотра и редактирования истинных координат ТС.

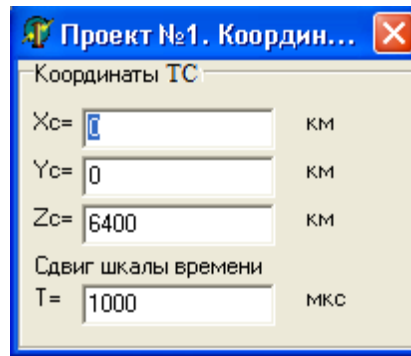


Рисунок 4.8 – Окно «Координаты ТС»

Специфика метода Ньютона-Рафсона обуславливает важность правильного задания исходного приближения для искомых координат, поскольку от них зависит не только скорость решения навигационной задачи, но и сходимость алгоритма. Чтобы задать эти данные, а при необходимости скорректировать их значения, в программе используется диалоговое окно с исходными значениями координат для метода Ньютона-Рафсона. Это окно представлено на рисунке 4.9.

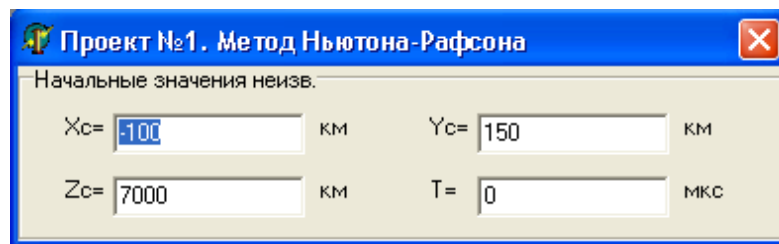
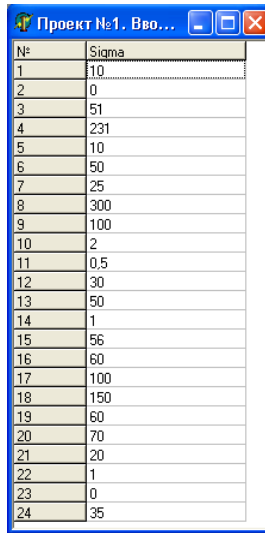


Рисунок 4.9 – Диалоговое окно, задающее начальное приближение координат для метода Ньютона-Рафсона

Важное значение при оценке метрологических характеристик предложенной имитационной модели имеют как систематические, так и случайные погрешности, возникающие при решении навигационной задачи. Выше было отмечено, что для оценки погрешностей в данной модели используется величина среднеквадратического отклонения.

Диалоговое окно, предназначенное для задания и оценки точности определения координат транспортного средства в зависимости от величины погрешностей, возникающих при определении аппаратурой потребителя псевдодальностей до соответствующих НИСЗ, показано на рисунке 4.10.



№	Sigma
1	10
2	0
3	51
4	231
5	10
6	50
7	25
8	300
9	100
10	2
11	0,5
12	30
13	50
14	1
15	56
16	60
17	100
18	150
19	60
20	70
21	20
22	1
23	0
24	35

Рисунок 4.10 – Диалоговое окно с заданными значениями среднеквадратических отклонений

При решении навигационной задачи имитационная модель выполняет следующие расчеты:

- рассчитывает действительные дальности до НИСЗ, а также псевдодальности с учетом временного сдвига шкал времени НИСЗ и потребителей;
- находит координаты транспортного средства с использованием метода Ньютона-Рафсона;
- формирует отчет об проделанных вычислениях в форме статистического ряда и его графического представления.

Ход выполнения сценария решения навигационной задачи отображается в соответствующих диалоговых окнах. На рисунке 4.11 показано окно, содержащее информацию о дальностях и псевдодальностях до спутников.

Для учета погрешностей от геометрического фактора, многолучевости, ионосферных и тропосферных задержек при прохождении спутниковых сигналов, возникающих при оценке дальностей до спутников, на точные значения этих дальностей накладываются заданные среднеквадратические отклонения, величина которых зависит от перечисленных факторов, а также от используемого способа решения навигационной задачи, в частности, с учетом дифференциальных поправок, данных, полученных от наземной инфраструктуры, и т.д.

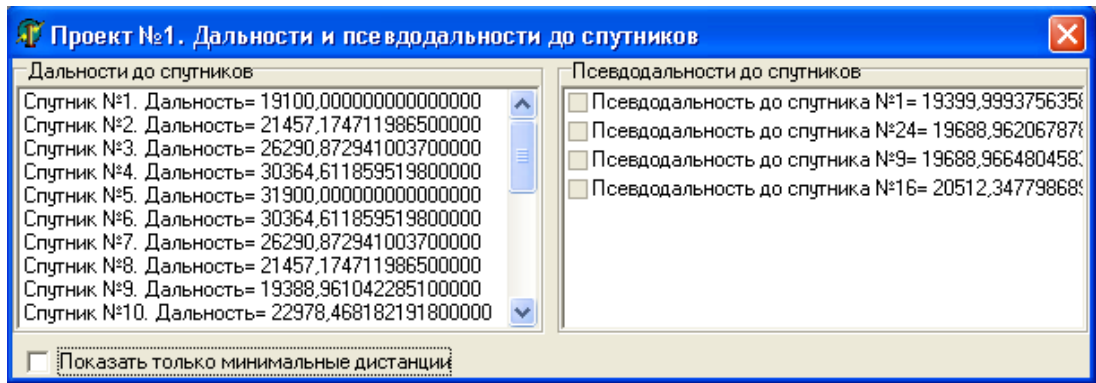


Рисунок 4.11 – Диалоговое окно с данными о дальностях и псевдодальностях до спутников

Как отмечалось ранее при автоматическом выборе созвездия НИСЗ программа начинает работать со спутниками, наиболее близко расположенными относительно транспортного средства. Это обстоятельство отражается в поле, которое показывает дальности до спутников. При этом будут отображены дальности до всех спутников, находящихся в зоне радиовидимости, по мере их удаления. Если же созвездие используемых НИСЗ заранее определено, то автоматически выдаются данные о дальности для отмеченных спутников. Аналогичная ситуация возникает при ручном выборе спутников, в этом случае программа выдает данные о дальности до выбранных спутников.

Отмеченное обстоятельство иллюстрирует рисунок 4.12, на котором представлены дальности и псевдодальности в случае ручного выбора созвездия НИСЗ.

Поскольку результаты каждого решения навигационной задачи имеют случайный характер, то в предлагаемой имитационной модели, наряду с однократным расчетом координат транспортного средства, предусматривается и многократное решение этой задачи. Такое решение позволяет провести статистический анализ полученных данных с целью более объективной оценки используемых методов позиционирования.

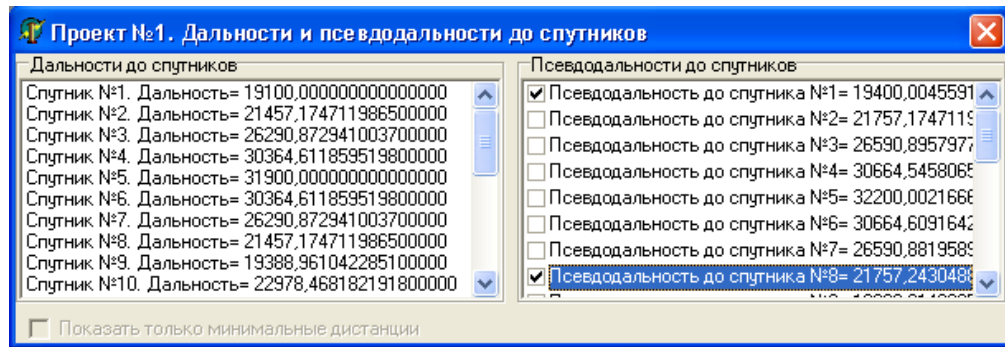


Рисунок 4.12 – Диалоговое окно с дальностями и псевдодальностями до заранее выбранных НИСЗ

В связи с этим в диалоговых окнах, предназначенных для отображения результатов расчета координат транспортных средств, используется две конфигурации. Первая соответствует однократному расчету и содержит полный отчет о ходе вычислительного процесса. В случае многократного повторения экспериментов в рабочем окне указывается также количество экспериментов и требование по точности найденного решения, которая оценивается по характеру изменения скорости сходимости к искомому оптимуму.

Как показано на рисунке 4.13, диалоговый режим работы программы поддерживается совокупностью специальных функциональных клавиш. Для однократного эксперимента актуальными являются клавиши «След. шаг», «Автом.», «Сброс». Клавиша «След. шаг» запускает процедуру поиска следующего приближения в итерационном процессе расчета координат транспортного средства. В свою очередь, если необходимо выполнить процедуру поиска решения не пошагово, а в целом, то использует клавиша «Автом.». Если по каким-то причинам результаты расчета оказываются не востребованными, то с помощью клавиши «Сброс» рабочее поле диалогового окна очищается от результатов расчета.

В свою очередь, для многократного эксперимента актуальной является клавиша «Полный расчет». Ход расчета отображается в нижней части окна. После выполнения заданного числа экспериментов автоматически осуществляется статистическая обработка их результатов и графическое представление последних. При выполнении многоэкспериментного расчета внизу окна



показывается ход расчета. По окончании расчета на экран автоматически выводятся окна «Статистический отчет» и «Графический отчет».

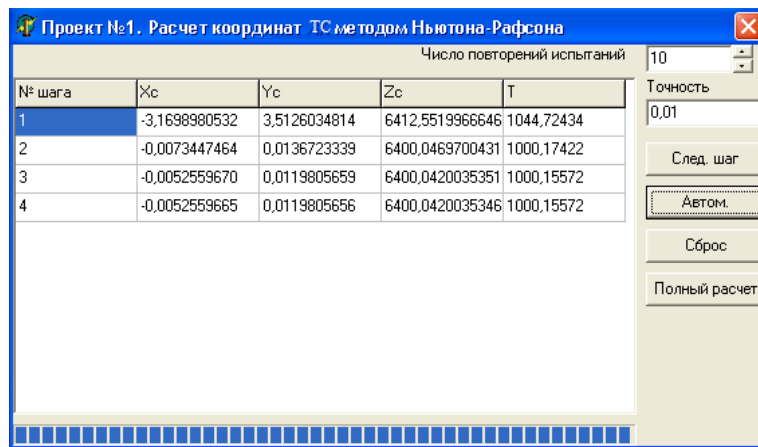


Рисунок 4.13 – Диалоговое окно сценария расчета координат транспортного средства

Как показано на рисунке 4.14 диалоговое окно «Статистический отчет» содержит исчерпывающую информацию о ходе вычислений и об их результатах.

Шаг	Xс	Yс	Zс	T	F	Таб	R	Псевдодальность
Шаг №1	-0,19454	-0,01938	6400,22994	1000,74245	0,10264	0,00003	0,02994	2052,23939
Шаг №2	-0,19459	-0,02141	6399,77880	999,26451	-0,11576	0,00003	0,02994	2052,23939
Шаг №3	-0,10883	-0,01982	6400,47932	1000,57864	-0,14427	0,00002	0,02994	2052,23939
Шаг №4	-0,01314	-0,00548	6399,87382	999,57981	-0,29522	0,00000	0,02994	2052,23939
Шаг №5	-0,00524	-0,01932	6400,07529	1000,26379	-0,30152	0,00001	0,02994	2052,23939
Средн. анал.	0,02234	0,00049	6400,08899	1000,28994	0,13631	0,01871	0,29752	0,39788
СД								

Рисунок 4.14 – Диалоговое окно для многократного эксперимента

По этой информации можно оценить результаты расчетов координат транспортного средства для каждого отдельно взятого эксперимента, а также условия, в которых эти результаты были получены. В первую очередь это касается погрешностей в задании псевдодальностей и самих этих псевдодальностей.

Что касается многократного эксперимента, то как отмечалось выше, наибольшую ценность представляют результаты статистической обработки, выраженные в вычисленных выборочных средних значениях координат

транспортного средства и в среднеквадратических отклонениях для каждой координаты, что определяет эффективность полученных статистических оценок.

Более наглядное представление о результатах расчетов дает графический отчет. На рисунке 4.15 показано как меняются рассчитанные значения координат транспортного средства в зависимости от номера эксперимента.

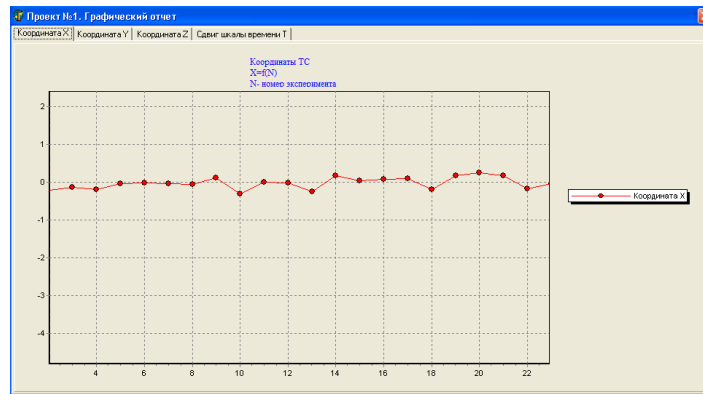


Рисунок 4.15 – Диалоговое окно с графическим отчетом о многократном эксперименте

В случае проведения значительного числа экспериментов можно менять масштаб, в котором показывается график, или рассмотреть отдельный участок графика, представляющий интерес для исследователя.

### 4.3. Сценарии моделирования системы позиционирования ТС с использованием имитационной модели «Спутник»»

Для оценки эффективности методов повышения целостности и точности навигационных определений, изложенных в 3 главе, рассмотрим три характерных сценария позиционирования ТС с использованием имитационных моделей орбитальных и наземных средств навигации [65].

Первый сценарий касается возможностей практического использования концепции «все в небе». Как отмечалось в третьей главе, данная концепция гарантирует высокую целостность навигационных определений даже в тех условиях, когда задействуются только возможности орбитальной группировки, без использования наземных средств. В то же время увеличение числа спутников заведомо приводит к увеличению погрешности из-за неоптимальной геометрии созвездия. Кроме того, приближенный характер решения переопределенной

системы алгебраических уравнений относительно искоемых координат ТС создает предпосылки для снижения точности позиционирования по мере увеличения размерности задачи. Целью экспериментов, проводимых с использованием разработанной имитационной модели «Спутник», является изучение зависимости точности позиционирования ТС от количества задействованных спутников.

Сценарий моделирования выполняется в следующей последовательности. Вначале запускаем файл загрузки sputnik.exe. Далее в окне главного меню запускаем «Инспектор проектов», с помощью которого задаем исходные данные, как это представлено на рисунке 4.16. В качестве этих данных фигурируют начальные координаты ТС и количество задействованных спутников. Поскольку ставится задача оценки точности позиционирования в зависимости от числа задействованных спутников, то последовательно рассматривались случаи с 4, 6, 8 и 12 спутниками.

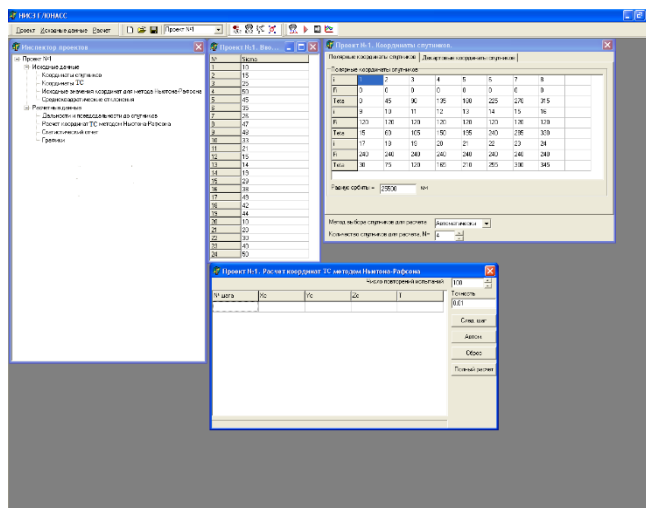


Рисунок 4.16 – Диалоговое окно сценария имитационного моделирования процедуры позиционирования транспортного средства

Программа работает со спутниками, наиболее близко расположенными относительно транспортного средства. При этом дальности до всех спутников учитываются с погрешностями, обусловленными ранее отмеченными факторами.

В окне "Расчет координат ТС" методом Ньютона-Рафсона задается число повторений испытаний, равное 100, и требуемая точность вычисления. Также

здесь можно задать способ формирования созвездия НИСЗ в автоматическом или ручном режиме.

Полный отчет по результатам 100 испытаний приведен в Приложении 1. На рисунке 4.17 приведен графический отчет по проведенным испытаниям. В таблицу 4.5 сведены обобщенные результаты статистических испытаний в виде выборочных средних значений рассчитанных координат ТС и сдвига по времени, а также выборочные среднеквадратические отклонения этих величин.

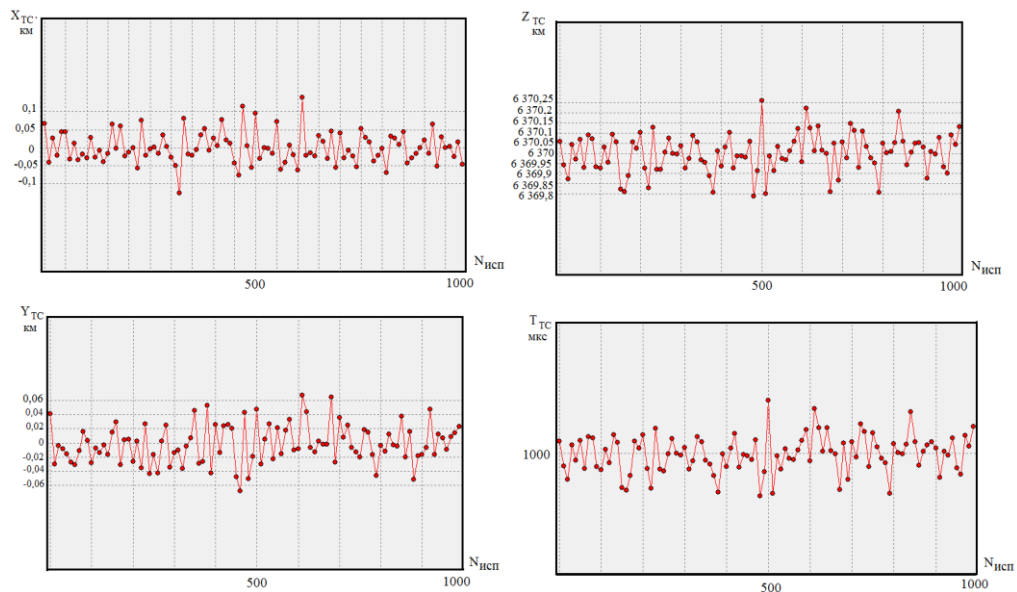


Рисунок 4.17 – Графический анализ

Были проведены аналогичные испытания для 6, 8, 10 и 12 спутников. Результаты этих испытаний также сведены в таблицу 4.5. Сравнительный анализ полученных данных свидетельствует о том, что точность позиционирования ТС средств вначале растет по мере увеличения числа задействованных спутников. Однако, достигнув минимума при 8 спутниках, погрешность начинает увеличиваться при переходе к орбитальным группировкам из 10 и 12 спутников. Это объясняется ухудшением конфигурации созвездий при увеличении числа спутников и ухудшением обусловленности переопределенной системы уравнений. Следовательно, предложенный принцип позиционирования «все в небе», являясь эффективным средством повышения целостности навигационных измерений, не во всех случаях обеспечивает высокую точность позиционирования.

Таблица 4.5. Результаты испытаний по сценарию «все в небе»

	X	Y	Z	T
4 НИСЗ				
Средн. знач.	-0,00642	0,00107	6409,98494	999,95044
СКО	0,11036	0,05518	0,17315	0,57094
6 НИСЗ				
Средн. знач.	-0,00561	0,00028	6410,00221	1000,00855
СКО	0,07293	0,03588	0,13593	0,44764
8 НИСЗ				
Средн. знач.	0,00059	0,00050	6409,99098	999,97197
СКО	0,02595	0,01683	0,06577	0,20806
10 НИСЗ				
Средн. знач.	-0,00016	-0,00270	6409,99053	999,96810
СКО	0,02646	0,01935	0,08674	0,28179
12 НИСЗ				
Средн. знач.	0,00356	-0,00317	6410,00816	1000,02876
СКО	0,07967	0,03561	0,15398	0,50685

Для оценки эффективности предложенной в 3 главе методики повышения точности навигационных определений с использованием наземной инфраструктуры были рассмотрены следующие два сценария.

Вначале оценивалась эффективность учета дифференциальных поправок, которые предполагается передавать в формате GPRS/EDGE сообщений от опорных станций. Использование дифференциальных поправок позволяет скомпенсировать большинство ионосферных и тропосферных погрешностей при передаче навигационных сообщений, поскольку из-за относительной близости расположения ТС и опорной станции навигационный сигнал претерпевает аналогичные искажения.

Результаты расчетов с использованием дифференциального метода сопоставлялся с данными, полученными от аналогичных созвездий орбитальной группировки.

Согласно третьему сценарию моделирования навигационная задача решалась с использованием информации, поступающей от псевдоспутников.

Ниже приводятся результаты проведенных экспериментов.

– По созвездию из 4 спутников

	X	Y	Z	T
Средн. знач.	0,10124	-0,04272	6410,22308	1000,69165
СКО	2,76843	1,68975	5,38383	16,88592

– С дифференциальными поправками для 4 спутников

	X	Y	Z	T
Средн. знач.	0,01765	-0,00162	6410,03091	1000,09838
СКО	0,13689	0,06267	0,27666	0,87173

– С 4 псевдоспутниками

	X	Y	Z	T
Средн. знач.	0,00282	0,00015	6410,00458	1000,01538
СКО	0,01585	0,00479	0,03017	0,10012

Согласно полученным данным, точность позиционирования повышается на порядок при использовании дифференциальных поправок и на два порядка при использовании локального радионавигационного поля.

Рассмотрим далее, как влияет увеличение числа спутников в используемых созвездиях на точность позиционирования применительно к описанным трем случаям.

- По созвездиям орбитальной группировки.

	X	Y	Z	T
8 НИСЗ				
Средн. знач.	-0,44591	-0,15772	6410,35474	1000,94195
СКО	3,09731	1,50084	7,03023	22,41856
12 НИСЗ				
Средн. знач.	0,53010	0,55180	6409,50539	998,49835
СКО	3,65398	1,83876	6,77064	21,58170

– С дифференциальными поправками

	X	Y	Z	T
8 НИСЗ				
Средн. знач.	-0,02106	-0,01732	6409,98878	999,96507
СКО	0,15794	0,09223	0,26979	0,83705
12 НИСЗ				
Средн. знач.	-0,01209	-0,01845	6410,04154	1000,13139
СКО	0,19936	0,09298	0,38640	1,23462

## – С псевдоспутниками

	X	Y	Z	T
8 НИСЗ				
Средн. знач.	0,00102	0,00016	6410,00152	1000,00511
СКО	0,01818	0,00851	0,02455	0,08179
12 НИСЗ				
Средн. знач.	0,00026	-0,00036	6409,99846	999,99477
СКО	0,00477	0,00291	0,01250	0,04115

Приведенные данные позволяют сделать важный вывод о возможностях наземной инфраструктуры с точки зрения повышения точности позиционирования. Дифференциальный метод, также как и в случае использования орбитальной группировки, не позволяет полностью компенсировать погрешности, возникающие при увеличении числа спутников. И только в случае использования наземных псевдоспутников увеличение их числа приводит к повышению точности позиционирования, что объясняется сохранением оптимальной конфигурации группировки наземных псевдоспутников по мере их увеличения.

#### 4.4. Результаты и выводы по четвертой главе

Проведена оценка эффективности информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем с использованием имитационной модели «Спутник», предназначенной для отработки и испытаний информационно-измерительных и управляющих систем спутниковой навигации. С этой целью:

1. Обоснован выбор программной системы Delphi 5 в качестве рабочей среды для проекта «Спутник», которая позволяет разрабатывать сложные программы за счет встроенных объектно-ориентированных средств и визуальных средств программирования.

2. Разработана структура программной модели «Спутник», которая имитирует поведение ГНСС ГЛОНАСС, что позволяет улучшить метрологические характеристики информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной среды.

3. Разработан интерфейс пользователя имитационной модели «Спутник», эффективность которого обусловлена использованием панели инструментов и главного меню, которые обеспечивают быстрый доступ к данным и наглядное представление результатов.

4. Рассмотрены 3 сценария моделирования системы позиционирования ТС с использованием имитационной модели «Спутник», которые позволили сделать следующие выводы.

Концепция «все в небе» гарантирует высокую целостность навигационных определений даже в тех условиях, когда задействуются только возможности орбитальной группировки, без использования наземных средств. Сравнительный анализ полученных данных свидетельствует о том, что точность позиционирования ТС средств практически не зависит от числа задействованных спутников. В то же время предложенный принцип позиционирования «все в небе» является эффективным средством повышения целостности навигационных



измерений, поскольку сбой в работе или отказ целой группы НИСЗ не приводит к нарушению сеанса навигации.

Сценарий работы в дифференциальном режиме, когда для компенсации ионосферных и тропосферных погрешностей при передаче навигационных сообщений используются дифференциальные поправки, позволяет существенно повысить точность позиционирования, поскольку из-за относительной близости расположения ТС и опорной станции навигационный сигнал претерпевает аналогичные искажения.

Сценарий использования наземной инфраструктуры в виде локальных радионавигационных полей, в состав которых входят «псевдоспутники», показал, что увеличение их числа приводит к повышению точности позиционирования в 10-15 раз. Это объясняется сохранением оптимальной конфигурации группировки наземных псевдоспутников по мере их увеличения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе сформулирована и решена задача построения информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем на базе инфо-телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации, обеспечивающего гарантированную целостность навигационных определений и высокую точность позиционирования транспортных средств, а также оптимизацию маршрутов движения по комплексу показателей. В ходе решения указанной задачи были получены следующие результаты.

1. Разработана унифицированная архитектура информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем, обладающая широкими возможностями для масштабирования и гибкой реконфигурации структуры к заданным условиям применения с учетом специфики различных видов транспортных средств, региональной дорожной сети и специфичных проблем управления дорожным движением.

2. Разработана методика отработки функционального состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем на базе CASE-технологии, включающего иерархически упорядоченную совокупность функциональных и информационных моделей.

3. Разработана методика совершенствования аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем с целью улучшения технических, эксплуатационных и экономических характеристик, оценивающих технический уровень современных инфо-коммуникационных технологий.

4. Разработаны метод и технические средства контроля безопасности маршрутов движения транспортных средств на основе расширенной цифровой карты с дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных, учитывающими уровень безопасности движения по выбранному маршруту за счет

расширения картоосновы используемой цифровой карты дополнительными динамически настраиваемыми слоями данных.

5. Разработана методика улучшения метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств, обеспечивающая гарантированную целостность навигационных определений и их высокую точность за счет использования избыточных навигационных измерений и локальной радионавигационной системы.

6. Проведена оценка эффективности разработанного информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем с использованием имитационной модели «Спутник», предназначенной для отработки и испытаний информационно-измерительных и управляющих систем спутниковой навигации, свидетельствующая о повышении точности измерения местоположения транспортных средств в среднем в 10-15 раз.

## СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

ИТС – интеллектуальная транспортная система ;

ИИУК ИТС – информационно-измерительный и управляющий комплекс для интеллектуальных транспортных систем;

RAIM – Receiver Autonomous Integrity Monitoring;

AIME – Autonomous Integrity Monitoring Extrapolation;

FDE –Fault Detection and Exclusion;

СПО – специальное программное обеспечение;

АНС – автомобильные навигационные системы;

ТС – транспортное средство;

ДК – дорожный контроллер;

СНС – спутниковая навигационная система;

НП – навигационные параметры;

НКУ – наземный комплекс управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёшин, Б.С. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии [Текст] / Б.С. Алешин, А.А. Афонин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.
2. Артынов, А.П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами [Текст] / А.П. Артынов, В.В. Скалецкий. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
3. Артынов, А.П. Автоматизация управления транспортными системами [Текст] / А.П. Артынов, В.Н. Ембулаев. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
4. Афанасьев, Л. Л. Единая транспортная система и автомобильные перевозки: учебник для вузов [Текст] / Л.Л. Афанасьев, Н.Б. Островский, С.М. Цукерберг. – М.: Транспорт, 1984. – 333 с.
5. Бакаев, А.А. Экономико-математические модели планирования и проектирования транспортных систем [Текст] / А.А. Бакаев. – Киев: Техника, 1973. – 87 с.
6. Бакаев, А.А. Математическое моделирование процессов планирования и управления грузовыми автомобильными перевозками [Текст] / А.А. Бакаев, Л.И. Бажан, А.Х. Ибрагимов. – Ташкент: Фан, 1984. – 83 с.
7. Беленький, А. С. Исследование операций в транспортных системах: идеи и схемы методов оптимизации планирования [Текст] / А.С. Беленький. – М.: Мир, 1992. – 582 с.
8. Белый, О.В. Архитектура и методология транспортных систем [Текст] / О. В. Белый, О. Г. Кокаев, С. А. Попов. – СПб.: Элмор, 2002. – 256 с.
9. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: учеб. Пособие [Текст] / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.
10. Бонсалл, П. У. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе (оценка вариантов развития транспортной системы и анализа чувствительности

- модели) [Текст] / П.У. Бонсалл, А.Ф. Чемперноул, А.К. Мейсон, А.Г. Уилсон. – М.: Транспорт, 1982. – 207 с.
11. Бочкарев, А. А. Планирование и моделирование цепи поставок. Учебно-практическое пособие [Текст] / А.А. Бочкарев. – М.: «Альфа-Пресс», 2008. – 192 с.
12. Бочкарев, А.А. Автоматизация планирования и моделирования цепи поставок [Текст] / А.А. Бочкарев. – СПб.: СПбГИЭУ, 2008. – 291 с.
13. Брайловский, Н.О. Моделирование транспортных систем [Текст] / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
14. Бутов, А.С. Транспортные системы. Моделирование и управление [Текст] / А.С. Бутов – СПб.: Судостроение, 2001. – 552 с.
15. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н.П. Бусенко – М.:Наука, 1978. – 395 с.
16. Богданов, А.В. Архитектуры и топологии многопроцессорных вычислительных систем [Текст] / А.В. Богданов. – М.: Энергоатомиздат. 2010. – 288 с.
17. Васюхин, М.Р. Математическое моделирование автотранспортных потоков на регулируемых [Текст] // Прикладная математика и механика. – 2012. – №.6. – С. 1035-1042.
18. Вельможин, А. В. Теория транспортных процессов и систем: учебник для вузов [Текст] / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. – М.: Транспорт, 1998. – 167 с.
19. Горев, А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие. 5-е изд. [Текст] / А.Э. Горев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
20. Жанказиев, С.В. Применение интеллектуальных телематических систем для оперативной оценки технического состояния автотранспортных средств [Текст] / В.М. Власов, В.Н. Богумил, А.Б. Смирнов // Отраслевой ежемесячный научно-производственный журнал для работников автотранспорта Автотранспортное предприятие. - М., - 2007.- № 9. – С. 50-54.

21. Жанказиев, С.В. Российская специфика построения интеллектуальных транспортных Систем / С.В. Жанказиев // Сборник докладов восьмой международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» 2011. – № 1 – С. 313-325.
22. Жанказиев, С.В. Задачи построения «Интеллектуальной дороги» / А.И. Воробьев // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте (сборник научных трудов) – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – С. 188-203.
23. Жанказиев, С.В. Российская специфика построения интеллектуальных транспортных систем / Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов восьмой международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» // СПб гос. архит. - строит. унт. Спб., 2008. – С. 307-311.
24. Жанказиев, С.В. Стратегии развития Интеллектуальных транспортных систем мегаполисов // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте (сборник научных трудов) – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – С. 170-177.
25. Задера, В.И. Современные датчики на дорогах // Автомобильные дороги. – 2013. - №4. – С. 56-59.
26. Канащенков, А.И. Облик перспективных бортовых навигационных систем [Текст] / А.И. Канащенков, В.И. Меркулов, О.Ф Самарин. – М.: ИПРЖР. – 176 с.;
27. Кинкулькин, И.Е. Главные направления НИР и ОКР по созданию нового поколения спутниковых бортовых авиационных приемников с учетом развития и модернизации СНС [Текст] // Новости навигации. – 2012. – № 4. – С. 24-28.
28. Козлов, Л.Н. О концептуальных подходах формирования и развития интеллектуальны транспортных систем в России Козлов [Текст] / Л.Н. Урличич Ю.М., Б.Е. Циклис // Транспорт Российской Федерации. – 2012. - № 3. – С. 30-35.
29. Красильщиков, М.К. Современные информационные технологии в задачах навигации [Текст] / М.К. Красильщиков – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2012. – 562 с.
30. Кузьмич, С.И. Транспортные проблемы современных городов и моделирование загрузки улично-дорожной сети // Автомобильный транспорт. – 2011. - №3. – С. 62.

31. Колесов, Ю. Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход: учеб. Пособие [Текст] / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 192 с.
32. Котиков, Ю.Г. Основы системного анализа транспортных систем: учеб. пособие [Текст] / Ю.Г. Котиков. – СПб.: СПбГАСУ, 2001. – 264 с.
33. Котиков, Ю.Г. Основы теории транспортных систем: учеб. Пособие [Текст] / Ю. Г. Котиков. – СПб.: СПб ГАСУ, 2000. – 216 с.
34. Курганов, В.М. Логистические транспортные потоки [Текст] / В.М. Курганов. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2003. – 252 с.
35. Лабецкая, Ю.В. Основы автоматизированного проектирования автомобильных дорог [Текст] / Ю.В. Лабецкая. – М.: Кредо-диалог. 2010. – 216 с.
36. Ларионов, А.М. Вычислительные комплексы, системы и сети [Текст] / А.М. Ларионов. – М.: Инфра-М. 2012. – 176 с.
37. Лопатин, А.П. Моделирование перевозочного процесса на город с ком. пассажирском транспорте [Текст] / А.П. Лопатин. – М.: Транспорт, 1985. – 144 с.
38. Михайлов, А.Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов [Текст] / А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.
39. Михайлов, А.С. Управление рынком перемещений городского населения [Текст] / А.С. Михайлов. – Алматы: НИЦ Гылым, 2003. – 237 с.
40. Нестеров, Е.П. Транспортные задачи линейного программирования [Текст] / Е.П. Нестеров. – М.: Транспорт, 1971. – 216 с.
41. Николаев, В.И. Системотехника: методы и приложения [Текст] / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
42. Николин, В.И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов [Текст] / В.И. Николин. – М.: Транспорт, 1990. – 192 с.
43. Николин, В.И. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / В.И. Николин, Е.Е. Витвицкий, С.М. Мочалин. – Омск: Вариант-Сибирь, 2004. – 480 с.
44. Образцова, Р.И. Инженерно-экономический анализ транспортных систем. Методология проектирования автоматизированной системы управления [Текст]



- /Р.И. Образцова, П.Г. Кузнецов, С.Б. Пшеничников; под ред. К.В. Фролова. – М.: Радио и связь, 1996. – 192 с.
45. Панамарева, О.Н. Интеллектуальные транспортные системы – инструмент повышения эффективности экономики России в целом // Сб. науч. трудов. Вып. 12. Новороссийск, 2011. С. 214 – 216.
46. Панов, С.А. Управление грузовыми автомобильными перевозками (основы анализа) [Текст] / С.А. Панов, А.М. Поляк, Ю.К. Поносов. – М.: Транспорт, 1979. – 127 с.
47. Персианов, В.А. Моделирование транспортных систем [Текст] / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.
48. Перов, А.И., ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования [Текст] / Изд. 4-е, перераб. и доп., М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
49. Поваляев, А.А. Спутниковые навигационные системы [Текст] / А.А. Поваляев – М.: Вузовская книга. 2012. – 188 с.
50. Пронькин, А.Н. Псевдоспутники дополняют GPS-навигацию [Текст] / А.Н. Пронькин // Власть. – 2011. - №4. – С. 115-119.
51. Прохоров Н.Л. Управляющие вычислительные комплексы. - М.: Инфра-М. 2011. – 352 с.
52. Пугачёв, И.С. Интеллектуальная транспортная система: будущее в управлении дорожным движением [Текст] / И.С. Пугачёв // Технологический прорыв. – 2013. – №13. – С.58.
53. Полянский, В.М. Имитационное моделирование транспортных систем [Текст] / В.М. Полянский. – СПб.: СПГУВК, 1998. – 162 с.
54. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии [Текст] / Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дороги организации движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
55. Саяпова, Л.Р. Алгоритмы маршрутизации в интеллектуальных транспортных системах [Текст] / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № (48). С. 16-23.

56. Саяпова, Л.Р. Алгоритм маршрутизации в интеллектуальных транспортных системах [Текст] / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: сб. тр. в 5 т. Том 2 / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2009. – С. 100 – 101. ISBN:978-5-86911-954-4.
57. Саяпова, Л.Р. Телекоммуникационные и интеллектуальные технологии в системах автомобильной навигации / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов// Журнал ассоциации авиа-приборостроителей “Мир авионики”-2010, №4-С.28-37.
58. Саяпова, Л.Р. Оптимизация маршрутов движения по векторному критерию [Текст] / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: сб. тр. в 5 т. Том 2 / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2010. – С. 105 – 107. ISBN:978-5-4221-0089-7.
59. Саяпова, Л.Р. Концепция повышения точности навигационных измерений в интеллектуальных транспортных системах с использованием принципа «все в небе» [Текст] / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы. Межвуз. сб. научных трудов. – Уфа, 2010.- С.220-225.ISBN: 978-5-4221-0096-5.
60. Саяпова, Л.Р. Программный аппаратный комплекс интеллектуальных транспортных систем / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: сб. тр. в 5 т. Том 2 / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2011. – С. 82 – 84. ISBN: 978-5-4221-0221-1.
61. Саяпова, Л.Р. Модификационный алгоритм Дейкстры для оптимизации маршрутов движения / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Актуальные проблемы науки и техники. 15-18 февраля 2011г. Том 1. Машиностроение, электроника, приборостроение. Информационные и инфокоммуникационные технологии: Сборник трудов Шестой Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых./ Уфимск. Гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2011. – С. 210–213.ISBN: 978-5-4221-0154-2.
62. Саяпова, Л.Р. Принцип динамической маршрутизации в автомобильных навигационных системах / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов// Актуальные проблемы науки и техники. Том 1. Машиностроение, электроника, приборостроение.

Информационные и инфокоммуникационные технологии: Сборник трудов Седьмая Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. 14-16 февраля 2012г. / Уфимск. Гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2012. – С. 338-341.

63. Саяпова, Л.Р. Векторная оптимизация маршрутов Интеллектуальных транспортных систем / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Актуальные проблемы науки и техники. Том 2. Машиностроение, электроника, приборостроение. Информационные и инфокоммуникационные технологии: Сборник трудов Восьмая Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. 19-20 февраля 2013г. / Уфимск. Гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2013. – С. 297-300.

64. Саяпова, Л.Р. Принципы формирования телематической платформы для интеллектуальных транспортных систем / В.Н. Ефанов, Л.Р. Саяпова // Информационно-измерительные и управляющие системы, № 12, 2011. - С. 121-127.

65. Саяпова, Л.Р. Обеспечение целостности навигационных измерений для транспортных средств за счет использованием локальной радиолокационной системы/ Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Информационно-измерительные и управляющие системы, № 3, 2012. - С. 37–43.

66. Саяпова, Л.Р. Информационная технология поиска безопасных маршрутов в транспортных системах / В.Н. Ефанов, Л.Р. Саяпова // Системы управления и информационные технологии. 2012, № 2.1 (48). - С. 140-144.

67. Саяпова, Л.Р. Инфотелекоммуникационные технологии обеспечения целостности навигационных измерений в интеллектуальных транспортных системах / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов// X международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ-2009.-С. 112-113.

68. Саяпова, Л.Р. Принципы целостности навигационных полей на основе системы псевдоспутников / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Актуальные проблемы науки и техники. 15-18 февраля 2011г. Том 1. Машиностроение, электроника, приборостроение. Информационные и инфокоммуникационные технологии:

Сборник трудов Шестой Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых./ Уфимск. Гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2011. – С. 107– 110.

69. Саяпова, Л.Р. Обеспечение целостности радиолокационных полей с использованием псевдоспутников [Текст] / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: сб. тр. В 5 т. Том 2 / Уфимск. Гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2012. – С. 134-135.

70. Саяпова, Л.Р. Архитектура информационно- управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем [Текст] / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Proceedings of the 2nd Internation Conference on «Intelligent Technologies for Information Processing and Management», Volume 2, November 10-12, 9-14 с./ Ufa, Russia, 2014, ISBN 978-5-4221-0656-1, ISBN 978-5-4221-0656-4.

71. Саяпова, Л.Р. Исследование метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств [Текст] / В.Н. Ефанов, Л.Р. Саяпова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2018, № № 3, т. 14. С. 88-92.

72. Саяпова, Л. Р. Оптимизация аппаратного состава информационно-измерительного и управляющего комплекса для интеллектуальных транспортных систем / Л.Р. Саяпова, В.Н. Ефанов // Вестник УГАТУ: научный журнал УГАТУ. 2018. Т. 22, № 4 (82). С. 153–161.

73. Советов, Б.Я. Моделирование систем [Текст] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. школа, 1985. – 270 с.

74. Ставничий, Ю.А. Транспортные системы городов [Текст] / Ю.А. Ставничий. –М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.

75. Стенбринк, П. А. Оптимизация транспортных сетей [Текст] / П. А. Стенбринк – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.

76. Сурмин, Ю.П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие [Текст] / Ю.П. Сурмин. – Киев: МАУП, 2003. – 368 с.

77. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2011619044. Программный модуль «Спутник» / В.Н. Ефанов, Л.Р. Саяпова, Д.Ф. Муфаззалов. Зарег. 21.11.2011.

78. Семенов, И.О. Моделирование и анализ систем [Текст] / IDEF-технологии. – М.: Финансы и статистика. 2011. – 192 с.
79. Сергеев, С.Л. Архитектуры вычислительных систем [Текст] / С.Л. Сергеев. – М.: С.-Пб.: БХВ-Петербург. 2011. – 240 с.
80. Соловьёв, Ю.А. Системы спутниковой навигации [Текст] / Ю.А. Соловьёв. – М.: Эко-Трендз. 2011. – 270 с.
81. Смирнова, Е.В. Технологии современных сетей Ethernet [Текст] / Е.В. Смирнова. – С.-Пб.: БХВ-Петербург. 2012. – 272 с.
82. Тархов, С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей: методы анализа топологических закономерностей [Текст] / С.А. Тархов. – М.: ИГ АН СССР, 1989. – 221 с.
83. Терехин, С.Н. Методология создания локальной системы позиционирования на основе ретрансляции сигналов глобальной навигационной системы ГЛОНАСС [Текст] / С.Н. Терехин. – М.: Вузовская книга. 2012. – 458 с.
84. Урличич, Ю.М. Псевдоспутники в навигационных системах [Текст] / Ю.М. Урличич // Новая эра. – 2011. - №2. – С.67-72.
85. Черемных, С.В. Структурный анализ систем: IDEF-технологии [Текст] / С.В. Черемных – М.: Финансы и статистика. 2012. – 208 с.
86. Шапиро, Дж. Моделирование цепи поставок / Дж. Шапиро; пер. с англ. СПб.: Питер, 2006. – 720 с.
87. Шубин, В.И. Беспроводные сети передачи данных [Текст] / В.И. Шубин. – М.: Вузовская книга. 2012. – 120 с.
88. Хей, Ф. Математическая теория транспортных потоков [Текст] / Ф. Хей. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
89. Цветков, В.Я. Геоинформационные системы и технологии [Текст] / В.Я. Цветков. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
90. Целемцкий, В.А. Моделирование функционирования транспортных систем: ВИНТИ. Серия «Транспорт, наука, техника, управление» [Текст] / В. А. Целемцкий. – М.: ВИНТИ, 1998. – 39 с.

91. Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и Глонасс [Текст] / В.С. Яценков // М., Горячая линия- Телеком, 2005, 272с.

**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ  
Программный модуль «Спутник»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2011619044**

**Программный модуль «Спутник»**

Правообладатель(ли): **Ефанов Владимир Николаевич (RU), Саяпова  
Линера Радиковна (RU), Муфаззалов Дмитрий Фиданович (RU)**

Автор(ы): **Ефанов Владимир Николаевич, Саяпова Линера  
Радиковна, Муфаззалов Дмитрий Фиданович (RU)**

Заявка № **2011617290**

Дата поступления **30 сентября 2011 г.**

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
**21 ноября 2011 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

“УТВЕРЖДАЮ”

И.о. начальника ОГИБДД Управления  
МВД России по городу Уфе  
И.А. Хисматуллин



2012 г.

### АКТ

об использовании результатов кандидатской диссертационной работы  
Саяповой Л.Р. на тему «Информационно-управляющий комплекс для  
интеллектуальных транспортных систем на базе инфо-  
телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации» в  
практике работы отдела ГИБДД Управления МВД России по городу Уфе

Комиссия в составе и.о. начальника ОГИБДД Управления МВД России  
по городу Уфе Хисматуллина И.А., старшего госинспектора отделения  
дорожной инспекции и организации движения ОГИБДД Управления МВД  
России по городу Уфе Рахматуллиной З.Т. составила настоящий акт в том,  
что результаты диссертационной работы:

- методика обеспечения безопасности дорожного движения с использованием технологии интеллектуальных транспортных систем;
- унифицированная многоуровневая архитектура интеллектуальных транспортных систем;
- алгоритмы маршрутизации в интеллектуальных транспортных системах по комплексному показателю эффективности и безопасности перевозок,
- алгоритм обеспечения целостности навигационных измерений для транспортных средств за счет использования локальной радионавигационной системы;

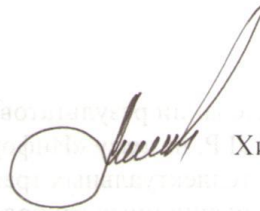
отвечают уровню современных требований в области развития интеллектуальных транспортных систем и безопасной дорожной инфраструктуры, позволяющей создавать информационную картину дорожной ситуации для предотвращения ДТП с помощью своевременного выявления потенциально опасных ситуаций.

Применение методики, предложенных моделей и алгоритмов позволяет повысить безопасность перевозок за счет формирования маршрутов движения транспорта с учетом комплекс показателей, таких как оценка качества состояния автомобильных дорог, оценка аварийности на участках дорог и оценка условий дорожного движения, а также за счет соблюдения скоростного режима, предотвращения аварийных ситуаций и представления наиболее полных и достоверных сведений о работе автотранспорта.



Помимо этого внедрение результатов диссертационной работы в производственно-хозяйственную деятельность транспортных предприятий позволит сократить долю транспортных расходов в себестоимости продукции и услуг до 10-15%; снизить потребление топлива в крупных городах на 20-30%; снизить время поездки в среднем на 20%; снизить выбросы CO<sub>2</sub> на 17% за счет оптимизации маршрутной сети, сбалансированной загрузки транспортных средств и минимизации холостого пробега.

и.о. начальника ОГИБДД  
Управления МВД России  
по городу Уфе



Хисматуллин И.А.

старший госинспектор  
отделения дорожной  
инспекции и организации  
движения ОГИБДД  
Управления МВД России  
по городу Уфе



Рахматуллина З.Т.

“УТВЕРЖДАЮ”  
 генеральный директор  
 ООО Агенство МКС  
 агент компании DHL Int  
 на территории РБ  
 Павлов А.Ф.



27.08.2012 2012 г.

### АКТ

об использовании результатов кандидатской диссертационной работы Саяповой Л.Р. на тему «Информационно-управляющий комплекс для интеллектуальных транспортных систем на базе телекоммуникационных технологий и средств спутниковой навигации» в производственной деятельности ООО Агенство МКС в компании DHL Int

Комиссия в составе генерального директора ООО Агенство МКС агент компании DHL Int на территории РБ Павлова А.Ф., руководителя оперативного управления Лмовой А.А., рассмотрев результаты диссертационной работы:

- методика организации грузовых перевозок с использованием телематической платформы интеллектуальных транспортных систем;
- унифицированная многоуровневая архитектура интеллектуальных транспортных систем;
- алгоритм обеспечения целостности навигационных измерений для транспортных средств за счет использования локальной радионавигационной системы;
- алгоритмы маршрутизации в интеллектуальных транспортных системах по комплексному показателю эффективности и безопасности перевозок,

подтверждает целесообразность их использования в практике работы предприятия по созданию эффективной системы транспортной логистики, направленной на оптимизацию работы автотранспорта и повышение безопасности перевозок за счет использованием передовых информационно-телекоммуникационных технологий и спутниковой навигации.

Применение методики, предложенных моделей и алгоритмов позволяет повысить качество транспортных услуг за счет строгого соблюдения графика движения, минимизации времени прибытия по вызову, ритмичного выполнение грузоперевозок, обеспечить максимальную эффективность работы автотранспорта за счет оптимизации маршрутной сети, сбалансированной загрузки транспортных средств, минимизации холостого пробега, повысить безопасность перевозок за счет соблюдение скоростного

режима, предотвращения аварийных ситуаций и представления наиболее полных и достоверных сведений о работе автотранспорта.

В связи с этим, внедрение результатов диссертационной работы в производственно-хозяйственную деятельность транспортных предприятий позволит, по экспертным оценкам, сократить долю транспортных расходов в себестоимости продукции и услуг до 10-15%; снизить потребление топлива в крупных городах на 20-30%; снизить время поездки в среднем на 20%; снизить выбросы CO<sub>2</sub> на 17%.

Генеральный директор  
ООО Агенство МКС,  
агент компании DHL Int  
на территории РБ


Павлов А.Ф.

Руководитель оперативного  
управления

Лмова А.А.

## Оценка наличия дефектов при содержании дорог

Элемент дороги	Перечень дефектов, допускаемых при выставлении оценок			
	(5)	(4)	(3)	(0)
1. Дорожного покрытия различного типа	высокий уровень содержания	средний уровень содержания	допустимый уровень содержания	недопустимый уровень содержания
2. Дорожной инфраструктуры	высокий уровень содержания	средний уровень содержания	допустимый уровень содержания	недопустимый уровень содержания
3. Мосты, путепроводы и другие искусственные сооружения	высокий уровень содержания	средний уровень содержания	допустимый уровень содержания	недопустимый уровень содержания
4. Уровень влияния на безопасность движения	высокий уровень содержания	средний уровень содержания	допустимый уровень содержания	недопустимый уровень содержания
5. Уровень благоустройства включая озеленение	высокий уровень содержания	средний уровень содержания	допустимый уровень содержания	недопустимый уровень содержания

## Основные результаты

Эксп. №1	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
Eps =	0,00205	0,03044	0,00853	0,01372
Псевдодальность	19390,00205	19679,58895	20504,61060	19679,56704
Эксп. №2	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00875	0,05760	0,02759	0,00794
Псевдодальность	19389,99125	19679,61611	19679,58610	20504,60482
Эксп. №3	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00207	0,00714	0,01449	-0,00427
Псевдодальность	19390,00207	19679,56565	19679,57301	20504,59262
Эксп. №4	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00125	-0,04642	0,04320	0,02140
Псевдодальность	19390,00125	19679,51209	19679,60171	20504,61828
Эксп. №5	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00446	0,04205	-0,02862	-0,01076
Псевдодальность	19389,99554	19679,60056	19679,52990	20504,58612
Эксп. №6	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00231	-0,00760	-0,02606	-0,00650
Псевдодальность	19390,00231	19679,55091	19679,53245	20504,59038
Эксп. №7	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00086	0,04145	-0,03827	-0,02819
Псевдодальность	19390,00086	19679,59996	19679,52024	20504,56869
Эксп. №8	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,01279	-0,01982	-0,04464	0,02763
Псевдодальность	19390,01279	19679,53869	19679,51387	20504,62451

Эксп. №9	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00402	0,00459	0,02193	-0,02343
Псевдодальность	19390,00402	19679,56310	19679,58044	20504,57345
Эксп. №10	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00267	-0,03825	0,00069	0,00931
Псевдодальность	19389,99733	19679,52026	19679,55921	20504,60620
Эксп. №11	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00269	0,00383	0,00274	0,02154
Псевдодальность	19389,99731	19679,56234	19679,56126	20504,61842
Эксп. №12	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00066	-0,00973	-0,01941	0,02246
Псевдодальность	19390,00066	19679,54878	19679,53910	20504,61935
Эксп. №13	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00546	0,03391	0,01111	-0,00272
Псевдодальность	19390,00546	19679,59243	19679,56963	20504,59416
Эксп. №14	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00317	0,04484	0,00392	0,00144
Псевдодальность	19390,00317	19679,60336	19679,56243	20504,59832
Эксп. №15	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00119	0,01059	-0,02023	0,00391
Псевдодальность	19389,99881	19679,56910	19679,53828	20504,60080
Эксп. №16	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00287	0,00257	-0,01323	0,01607
Псевдодальность	19389,99713	19679,56108	19679,54528	20504,61295
Эксп. №17	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16

Eps =	-0,00475	-0,04219	-0,01890	-0,00204
Псевдодальность	19389,99525	19679,51632	19679,53961	20504,59484
Эксп. №18	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00385	0,02249	-0,00974	-0,01201
Псевдодальность	19390,00385	19679,58100	19679,54877	20504,58488
Эксп. №19	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00354	0,00286	0,02485	-0,01042
Псевдодальность	19389,99646	19679,56137	19679,58336	20504,58647
Эксп. №20	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,01065	-0,00143	0,01212	-0,00210
Псевдодальность	19389,98935	19679,55708	19679,57063	20504,59479
Эксп. №21	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00124	-0,04191	-0,00125	0,00154
Псевдодальность	19390,00124	19679,51661	19679,55726	20504,59843
Эксп. №22	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00031	-0,00755	0,01796	-0,00156
Псевдодальность	19390,00031	19679,55096	19679,57647	20504,59532
Эксп. №23	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00163	0,04176	0,04651	-0,04091
Псевдодальность	19389,99837	19679,60028	19679,60503	20504,55597
Эксп. №24	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,01004	0,02662	0,00045	0,00010
Псевдодальность	19389,98996	19679,58513	19679,55897	20504,59699
Эксп. №25	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00181	-0,02395	-0,00563	0,00585
Псевдодальность	19389,99819	19679,53457	19679,55288	20504,60273

Эксп. №26	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00363	-0,00246	0,02025	-0,01100
Псевдодальность	19390,00363	19679,55605	19679,57876	20504,58588
Эксп. №27	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00293	0,00874	0,01449	-0,02852
Псевдодальность	19390,00293	19679,56725	19679,57300	20504,56836
Эксп. №28	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00391	-0,00404	0,00704	0,02798
Псевдодальность	19390,00391	19679,55447	19679,56555	20504,62486
Эксп. №29	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00040	-0,02015	-0,00333	-0,00717
Псевдодальность	19390,00040	19679,53836	19679,55518	20504,58971
Эксп. №30	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00267	-0,00723	0,01546	0,03577
Псевдодальность	19389,99733	19679,55128	19679,57398	20504,63266
Эксп. №31	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,01234	-0,01622	-0,01473	0,01171
Псевдодальность	19390,01234	19679,54229	19679,54378	20504,60860
Эксп. №32	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00694	-0,01776	-0,03379	-0,00648
Псевдодальность	19390,00694	19679,54076	19679,52472	20504,59041
Эксп. №33	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00173	-0,03007	-0,00552	-0,00609
Псевдодальность	19389,99827	19679,52844	19679,55299	20504,59079
Эксп. №34	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16



Eps =	0,00751	0,05221	-0,02563	-0,03373
Псевдодальность	19390,00751	19679,61072	19679,53288	20504,56316
Эксп. №35	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00111	0,00352	0,02580	0,00844
Псевдодальность	19390,00111	19679,56203	19679,58431	20504,60533
Эксп. №36	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00219	-0,00105	-0,02140	-0,00938
Псевдодальность	19390,00219	19679,55746	19679,53711	20504,58750
Эксп. №37	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00616	-0,04537	0,06308	-0,00393
Псевдодальность	19389,99384	19679,51314	19679,62159	20504,59295
Эксп. №38	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00241	-0,02916	0,00001	-0,04253
Псевдодальность	19389,99759	19679,52935	19679,55852	20504,55436
Эксп. №39	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00122	-0,03872	-0,02443	0,00663
Псевдодальность	19389,99878	19679,51979	19679,53408	20504,60351
Эксп. №40	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00353	0,03537	-0,00220	-0,00802
Псевдодальность	19389,99647	19679,59388	19679,55631	20504,58886
Эксп. №41	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00699	0,05404	-0,03763	-0,03603
Псевдодальность	19389,99301	19679,61255	19679,52088	20504,56085
Эксп. №42	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00433	-0,01816	0,02412	0,03263
Псевдодальность	19389,99567	19679,54036	19679,58263	20504,62951

Эксп. №43	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00367	0,01660	0,02023	0,00777
Псевдодальность	19389,99633	19679,57512	19679,57874	20504,60465
Эксп. №44	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00375	-0,01200	-0,04130	-0,06717
Псевдодальность	19390,00375	19679,54651	19679,51721	20504,52972
Эксп. №45	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00242	-0,01557	-0,00990	0,03614
Псевдодальность	19389,99758	19679,54294	19679,54861	20504,63302
Эксп. №46	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00413	0,00381	-0,00807	0,00157
Псевдодальность	19390,00413	19679,56232	19679,55045	20504,59845
Эксп. №47	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00215	0,00062	-0,01372	-0,00848
Псевдодальность	19390,00215	19679,55913	19679,54479	20504,58840
Эксп. №48	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00630	0,01644	-0,01680	-0,03965
Псевдодальность	19390,00630	19679,57495	19679,54172	20504,55723
Эксп. №49	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00761	-0,00853	-0,01777	-0,00269
Псевдодальность	19390,00761	19679,54998	19679,54074	20504,59420
Эксп. №50	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00390	-0,01461	-0,00767	-0,03511
Псевдодальность	19390,00390	19679,54390	19679,55084	20504,56178
Эксп. №51	$X_c = 0,00000$	$Y_c = 0,00000$	$Z_c = 0,00000$	$T = 0,00000$

№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00325	-0,05832	-0,07490	-0,00282
Псевдодальность	19389,99675	19679,50019	19679,48361	20504,59407
Эксп. №52	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00448	-0,02199	-0,02583	-0,00851
Псевдодальность	19390,00448	19679,53652	19679,53268	20504,58838
Эксп. №53	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00699	0,04914	0,03059	-0,00559
Псевдодальность	19390,00699	19679,60765	19679,58911	20504,59129
Эксп. №54	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00516	-0,00394	0,03370	0,01051
Псевдодальность	19389,99484	19679,55458	19679,59222	20504,60739
Эксп. №55	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00292	0,00674	0,02838	0,03981
Псевдодальность	19389,99708	19679,56525	19679,58689	20504,63669
Эксп. №56	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00341	0,00516	-0,02602	-0,00071
Псевдодальность	19389,99659	19679,56368	19679,53250	20504,59617
Эксп. №57	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00392	0,04105	-0,00594	-0,02514
Псевдодальность	19390,00392	19679,59957	19679,55257	20504,57175
Эксп. №58	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00391	0,00663	0,01844	0,02245
Псевдодальность	19389,99609	19679,56514	19679,57695	20504,61933
Эксп. №59	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000

№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00347	-0,01401	-0,03574	-0,01106
Псевдодальность	19389,99653	19679,54450	19679,52278	20504,58583
Эксп. №60	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00733	-0,03470	-0,00661	0,00971
Псевдодальность	19390,00733	19679,52382	19679,55191	20504,60660
Эксп. №61	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00186	-0,03862	-0,01500	0,00969
Псевдодальность	19390,00186	19679,51989	19679,54352	20504,60657
Эксп. №62	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00115	0,01756	0,02786	-0,02798
Псевдодальность	19389,99885	19679,57607	19679,58637	20504,56890
Эксп. №63	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00341	0,00789	-0,03604	-0,00926
Псевдодальность	19389,99659	19679,56640	19679,52248	20504,58763
Эксп. №64	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00352	-0,02110	0,01503	0,00091
Псевдодальность	19389,99648	19679,53741	19679,57355	20504,59779
Эксп. №65	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00323	0,05070	-0,01401	0,01734
Псевдодальность	19390,00323	19679,60921	19679,54450	20504,61423
Эксп. №66	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00617	0,01751	-0,02927	0,02163
Псевдодальность	19389,99383	19679,57603	19679,52924	20504,61852
Эксп. №67	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000

№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00272	0,01958	0,04858	0,00540
Псевдодальность	19389,99728	19679,57809	19679,60709	20504,60228
Эксп. №68	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00322	0,02596	0,01341	-0,00020
Псевдодальность	19390,00322	19679,58447	19679,57192	20504,59669
Эксп. №69	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00563	-0,00392	-0,01970	-0,00441
Псевдодальность	19389,99437	19679,55460	19679,53881	20504,59248
Эксп. №70	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00007	0,02728	-0,02359	-0,00671
Псевдодальность	19389,99993	19679,58579	19679,53493	20504,59018
Эксп. №71	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00320	0,01096	-0,02124	-0,02645
Псевдодальность	19389,99680	19679,56947	19679,53727	20504,57044
Эксп. №72	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00303	-0,00759	-0,03429	0,01013
Псевдодальность	19390,00303	19679,55092	19679,52422	20504,60702
Эксп. №73	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00654	-0,00134	-0,03532	0,00426
Псевдодальность	19389,99346	19679,55718	19679,52319	20504,60114
Эксп. №74	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00721	0,01495	-0,01130	-0,01874
Псевдодальность	19389,99279	19679,57346	19679,54722	20504,57814
Эксп. №75	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000

№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00443	-0,00113	0,02991	0,01104
Псевдодальность	19389,99557	19679,55738	19679,58842	20504,60792
Эксп. №76	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00421	0,04871	0,00423	0,01207
Псевдодальность	19390,00421	19679,60722	19679,56274	20504,60895
Эксп. №77	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00198	-0,03425	-0,01070	0,02345
Псевдодальность	19390,00198	19679,52427	19679,54781	20504,62034
Эксп. №78	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00054	-0,04800	-0,00497	0,01641
Псевдодальность	19389,99946	19679,51051	19679,55355	20504,61330
Эксп. №79	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00156	-0,05468	0,02421	-0,00677
Псевдодальность	19389,99844	19679,50383	19679,58272	20504,59012
Эксп. №80	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00551	-0,01068	0,01476	0,00896
Псевдодальность	19390,00551	19679,54783	19679,57328	20504,60584
Эксп. №81	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00007	0,02406	-0,00819	0,02043
Псевдодальность	19389,99993	19679,58257	19679,55032	20504,61732
Эксп. №82	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,01212	0,03846	-0,01928	0,01227
Псевдодальность	19390,01212	19679,59697	19679,53923	20504,60916
Эксп. №83	X <sub>c</sub> = 0,00000	Y <sub>c</sub> = 0,00000	Z <sub>c</sub> = 0,00000	T = 0,00000

№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00217	0,03644	-0,00161	0,02016
Псевдодальность	19390,00217	19679,59495	19679,55690	20504,61705
Эксп. №84	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00450	-0,01372	-0,00741	-0,00460
Псевдодальность	19390,00450	19679,54480	19679,55110	20504,59229
Эксп. №85	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00534	-0,02870	0,01019	-0,00106
Псевдодальность	19389,99466	19679,52981	19679,56870	20504,59583
Эксп. №86	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00176	-0,02442	0,00346	-0,01589
Псевдодальность	19389,99824	19679,53409	19679,56197	20504,58099
Эксп. №87	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00581	0,04364	0,02825	0,00730
Псевдодальность	19389,99419	19679,60215	19679,58677	20504,60418
Эксп. №88	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00663	0,02424	0,00420	0,02395
Псевдодальность	19390,00663	19679,58275	19679,56271	20504,62084
Эксп. №89	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00140	0,03022	0,01779	-0,03777
Псевдодальность	19390,00140	19679,58873	19679,57630	20504,55912
Эксп. №90	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00852	-0,04453	-0,03984	0,02099
Псевдодальность	19390,00852	19679,51398	19679,51867	20504,61787
Эксп. №91	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000

№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00427	0,01002	-0,01085	0,01369
Псевдодальность	19389,99573	19679,56854	19679,54766	20504,61057
Эксп. №92	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00011	-0,03424	0,01464	0,01685
Псевдодальность	19389,99989	19679,52427	19679,57316	20504,61373
Эксп. №93	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00002	-0,04210	0,01241	-0,01428
Псевдодальность	19390,00002	19679,51641	19679,57092	20504,58260
Эксп. №94	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00020	-0,01373	0,00838	-0,02941
Псевдодальность	19389,99980	19679,54478	19679,56689	20504,56747
Эксп. №95	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00111	-0,04369	-0,01123	0,01299
Псевдодальность	19390,00111	19679,51482	19679,54728	20504,60987
Эксп. №96	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00032	-0,00724	-0,03133	-0,02629
Псевдодальность	19390,00032	19679,55127	19679,52719	20504,57059
Эксп. №97	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	-0,00586	0,01327	0,05659	0,01137
Псевдодальность	19389,99414	19679,57178	19679,61511	20504,60825
Эксп. №98	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00576	-0,01809	0,00872	0,02388
Псевдодальность	19390,00576	19679,54042	19679,56724	20504,62077
Эксп. №99	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000



№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00138	0,04050	-0,06191	-0,01749
Псевдодальность	19390,00138	19679,59901	19679,49660	20504,57939
Эксп. №100	Xc = 0,00000	Yc = 0,00000	Zc = 0,00000	T = 0,00000
№ спутника	1	24	9	16
Eps =	0,00287	-0,02261	0,04036	0,00561
Псевдодальность	19390,00287	19679,53590	19679,59887	20504,60249
Средн. знач.	Xcp = -0,00642	Ycp = 0,00107	Zcp = 6409,98494	Tcp = 999,95044
СКО	Sx = 0,11036	Sy = 0,05518	Sz = 0,17315	St = 0,57094

№ эксп	Xc	Yc	Zc	T
Эксп. №1	0,06680	0,04092	6370,05956	1000,20257
Эксп. №2	-0,04190	-0,02997	6369,94081	999,80033
Эксп. №3	0,02683	-0,00440	6369,87398	999,57898
Эксп. №4	-0,02130	-0,00863	6370,04167	1000,14269
Эксп. №5	0,04466	-0,01537	6369,97109	999,88772
Эксп. №6	0,04314	-0,02707	6370,06946	1000,20784
Эксп. №7	-0,03303	-0,03128	6369,93054	999,76012
Эксп. №8	0,01273	-0,01156	6370,09034	1000,27063
Эксп. №9	-0,03356	0,01579	6370,07056	1000,25154
Эксп. №10	-0,01919	0,00346	6369,93337	999,78151
Эксп. №11	-0,02901	-0,02822	6369,92738	999,73393
Эксп. №12	0,02715	-0,00731	6370,02872	1000,06984
Эксп. №13	-0,02717	-0,01341	6369,95494	999,84632
Эксп. №14	-0,00735	-0,00345	6370,09281	1000,30457
Эксп. №15	-0,03962	-0,01625	6370,05641	1000,18437
Эксп. №16	-0,01641	0,01500	6369,82344	999,44308
Эксп. №17	0,06502	0,02971	6369,81091	999,39998
Эксп. №18	-0,00191	-0,03058	6369,88729	999,63875
Эксп. №19	0,05935	0,00433	6370,05543	1000,20380
Эксп. №20	-0,02363	0,00490	6370,02259	1000,08738
Эксп. №21	-0,01305	-0,02634	6370,10366	1000,31079
Эксп. №22	-0,00085	0,00273	6369,92692	999,75546
Эксп. №23	-0,05799	-0,03545	6369,82948	999,42823

Эксп. №24	0,07523	0,02675	6370,12882	1000,41339
Эксп. №25	-0,02242	-0,04318	6369,92066	999,74834
Эксп. №26	-0,00421	-0,01662	6369,91847	999,71500
Эксп. №27	0,00043	-0,04242	6370,00637	999,99257
Эксп. №28	-0,01680	0,00193	6370,07403	1000,24052
Эксп. №29	0,03474	0,02512	6369,99997	1000,00306
Эксп. №30	0,00268	-0,03473	6369,99558	999,96990
Эксп. №31	-0,02684	-0,01372	6370,03548	1000,09564
Эксп. №32	-0,04969	-0,01056	6369,92482	999,74625
Эксп. №33	-0,12685	-0,03621	6369,97330	999,88260
Эксп. №34	0,08074	-0,00454	6370,08554	1000,27446
Эксп. №35	-0,01818	0,00721	6370,05663	1000,19168
Эксп. №36	-0,02263	0,04546	6369,96619	999,89290
Эксп. №37	-0,00598	-0,02911	6369,95431	999,83152
Эксп. №38	0,03545	-0,02602	6369,88828	999,63650
Эксп. №39	0,05209	0,05285	6369,80727	999,37252
Эксп. №40	-0,00725	-0,04242	6370,01048	999,99608
Эксп. №41	0,02645	0,02599	6369,93469	999,78904
Эксп. №42	0,00529	-0,01374	6370,03051	1000,08643
Эксп. №43	0,07770	0,02428	6370,10195	1000,32493
Эксп. №44	0,01994	0,02580	6369,92609	999,77529
Эксп. №45	0,01172	0,02031	6369,98686	999,98734
Эксп. №46	-0,04335	-0,04782	6369,98743	999,96036
Эксп. №47	-0,07630	-0,06782	6369,98003	999,90274
Эксп. №48	0,11583	0,04275	6370,05943	1000,22006
Эксп. №49	0,00434	-0,05078	6369,78746	999,30814
Эксп. №50	-0,05590	-0,01882	6369,91227	999,70363
Эксп. №51	0,09501	0,04721	6370,26017	1000,86746
Эксп. №52	-0,03090	-0,02992	6369,79972	999,35198
Эксп. №53	-0,00044	0,00484	6369,98730	999,96202
Эксп. №54	-0,00300	0,02667	6369,91462	999,74502
Эксп. №55	-0,01726	-0,02264	6370,03220	1000,07237
Эксп. №56	0,07282	0,02138	6369,97242	999,91951
Эксп. №57	-0,06035	-0,01530	6369,96803	999,90035

Эксп. №58	-0,04079	0,01805	6370,01158	1000,06040
Эксп. №59	0,00635	0,03280	6370,05711	1000,20933
Эксп. №60	-0,01976	0,01027	6370,12260	1000,39371
Эксп. №61	-0,06306	-0,00809	6369,95696	999,88351
Эксп. №62	0,13991	0,06712	6370,22359	1000,73477
Эксп. №63	-0,02269	0,04398	6370,12475	1000,42390
Эксп. №64	-0,01488	-0,00675	6370,01108	1000,03851
Эксп. №65	-0,02346	-0,01265	6370,13350	1000,42340
Эксп. №66	0,03294	0,00262	6370,01472	1000,05023
Эксп. №67	0,01785	-0,00181	6369,99805	999,99262
Эксп. №68	-0,03089	-0,00231	6369,80952	999,40819
Эксп. №69	0,04577	0,06413	6370,04786	1000,17484
Эксп. №70	-0,05560	-0,02708	6369,86638	999,57994
Эксп. №71	0,04011	0,03582	6370,05587	1000,19337
Эксп. №72	-0,02825	0,00777	6369,97578	999,93818
Эксп. №73	-0,00701	0,02439	6370,14802	1000,48035
Эксп. №74	-0,02385	-0,00654	6370,11348	1000,35916
Эксп. №75	-0,05464	-0,01303	6369,92990	999,78753
Эксп. №76	0,05215	-0,02007	6370,10893	1000,34114
Эксп. №77	0,02714	0,01882	6370,03276	1000,11031
Эксп. №78	0,01523	0,01481	6369,97584	999,91848
Эксп. №79	-0,03816	-0,01623	6369,95215	999,84764
Эксп. №80	-0,02259	-0,04617	6369,80506	999,34735
Эксп. №81	-0,00158	-0,00414	6370,04924	1000,16207
Эксп. №82	-0,07012	-0,01232	6370,00081	1000,01890
Эксп. №83	0,03105	0,01246	6370,00720	999,99196
Эксп. №84	0,02628	-0,00300	6370,05095	1000,15116
Эксп. №85	0,00756	-0,00527	6370,20689	1000,68363
Эксп. №86	0,04331	0,03738	6370,05759	1000,19542
Эксп. №87	-0,04271	-0,02038	6369,94135	999,80639
Эксп. №88	-0,02991	0,01625	6370,00522	1000,03107
Эксп. №89	-0,01664	-0,05195	6370,04885	1000,13478
Эксп. №90	-0,00026	-0,01879	6370,05193	1000,19295
Эксп. №91	0,02061	-0,01648	6370,03076	1000,08860

Эксп. №92	-0,01632	-0,00701	6369,87665	999,61441
Эксп. №93	0,06484	0,04737	6370,00804	1000,03858
Эксп. №94	-0,05185	-0,01622	6369,99583	999,97077
Эксп. №95	0,02972	0,01185	6370,07677	1000,25416
Эксп. №96	-0,00139	0,00663	6369,93281	999,76960
Эксп. №97	0,00292	-0,00963	6369,90168	999,66259
Эксп. №98	-0,02555	0,00894	6370,09143	1000,29910
Эксп. №99	0,01459	0,01437	6370,04136	1000,11897
Эксп. №100	-0,04650	0,02283	6370,13015	1000,44066
Средн. знач.	-0,00028	-0,00168	6369,99870	999,99493
СКО	0,04362	0,02728	0,09450	0,30831