

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
( **Н И У « Б е л Г У »** )

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**Кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий**

**РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА НАЗЕМНЫМ ГОРОДСКИМ ТРАНСПОРТОМ**

**Выпускная квалификационная работа бакалавра**

**очной формы обучения**

**направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

**4 курса группы 07001209**

**Кузнецовой Валерии Сергеевны**

Научный руководитель  
канд. техн. наук, ст. преп.  
кафедры Информационно-  
телекоммуникационных  
систем и технологий  
НИУ «БелГУ» Д.И. Ушаков

Рецензент  
Ведущий инженер участка  
мультисервисных сетей  
Белгородского филиала ОАО  
«Ростелеком»  
С.В. Уманец

**БЕЛГОРОД 2016**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ.....	5
1.1 Системы малого радиуса действия .....	5
1.2 Интеллектуальная транспортная инфраструктура .....	9
1.3 Технология малого радиуса действия DSRC .....	13
2 АНАЛИЗ СТАНДАРТА IEEE 802.11P .....	19
2.1 Стек протоколов стандарта IEEE 802.11p .....	19
2.2 Анализ видов модуляции стандарта IEEE 802.11p.....	21
3 БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА НАЗЕМНЫМ ГОРОДСКИМ ТРАНСПОРТОМ. 29	
3.1 Общая структура интеллектуальной системы управления и мониторинга наземным городским транспортом и её схема внедрения .....	29
3.2 Приложения пользователя .....	34
3.3 Архитектура сети «Автоматизация интеллектуального управления»	37
4 ОБОРУДОВАНИЕ И ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ .....	39
4.1 Гранит - Навигатор-2.07 .....	39
4.2 Оборудование FlexRoad .....	45
4.3 Стек DSRC .....	46
4.4 Расчет диапазона помех .....	50
4.5 Оценка чувствительность в зависимости от коэффициента потерь на трассе .....	52
4.6 Анализ пропускной способности сети радиосвязи стандарта IEEE 802.11p .....	54
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	65

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Кузнецова В.С.			Разработка беспроводной системы интеллектуального управления и мониторинга наземным городским транспортом	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Ушаков Д.И.					2	65
Рецензент						<i>Гр. 07001209</i> <i>«НИУ БелГУ»</i>		
Норм. контр		Ушаков Д.И.						
Утвердил		Жуляков Е.Г.						

## ВВЕДЕНИЕ

Идея создания телематических служб появилась более десяти лет назад. Телематику можно определить как систему связи для сбора, обработки и распространения информации. Рынок транспортных услуг – это самая важная область для телематических приложений. Транспортно – телематические вопросы являются областью изучения, которые объединяют информационные технологии и телекоммуникации в приложениях для управления и контроля трафика в транспортных системах, стимулируя технические и организационные мероприятия, которые обеспечивают высокую эффективность и безопасную эксплуатацию таких систем. В последние годы серьезнейшей проблемой крупных городов стало хроническое возникновение заторов на дорожной сети, приводящее к потерям, соизмеримым с суточным бюджетом времени людей, который в свете современных экономических теорий является очень дорогим ресурсом. Проектирование и разработка систем транспортной телематики представляет собой новый подход к решению транспортных проблем. Телематика предоставляет большие возможности для укрепления положительных качеств транспорта (доступность и мобильность) и сведение к минимуму его негативных последствий (загрязнение окружающей среды, потребление электроэнергии, заторов, аварий, инфраструктурных затрат на строительство) без каких либо дополнительных расходов на инвестиции. Отдельные транспортные системы в данный момент находятся на различных стадиях развития. Технологические возможности продолжают расширяться, телематика будет быстро входить во все сферы нашей жизни. Телематические системы будут становиться все более необходимым элементом транспортной системы. Для того, что бы обеспечить общество наибольшим количеством преимуществ необходимо признать положительное влияние телематики, а так же учесть все риски и препятствия развития. Развитие телематики может обеспечить потенциальные улучшения

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

безопасности и комфорта, но не приведет к увеличению эффективности дорожной сети. Телематические системы являются неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры.

В связи с объективным ростом и качественным увеличением интенсивности и оборота транспортных потоков, изменения масштабов компьютеризации систем управления и мониторинга транспортных средств возникает потребность в интеллектуальной поддержке управления этими процессами. Стоит обратить внимание, что проблема аварийности, связанная с транспортными средствами в последние годы приобрела особую остроту в связи с несоответствием дорожно-транспортной инфраструктуры потребностям общества и государства в безопасном дорожном движении, недостаточной эффективностью функционирования системы обеспечения безопасности и крайне низкой дисциплиной участников дорожного движения. Одним из наиболее значимых инструментов решения данной проблемы и явилось разработка беспроводной системы интеллектуального управления городским транспортом.

Цель работы: разработать беспроводную систему интеллектуального управления и мониторинга наземным городским транспортом для снижения транспортной нагрузки и аварийности в городах.

Задачи:

- Провести аналитический анализ теоретического материала, связанного с интеллектуальными транспортными системами(ИТС);
- Провести анализ и сравнение существующих систем для мониторинга транспортных средств;
- Выбрать наиболее подходящую и удовлетворяющую всем условиям технологию для интеллектуальной системы управления и мониторинга наземным городским транспортом;
- Разработать схемное решение для интеллектуальной системы.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

# 1 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

## 1.1 Системы малого радиуса действия

В настоящее время актуальными системами являются беспроводные системы малого радиуса действия. Исследование целесообразных путей построения таких систем впервые в 1994 г. начала известная шведская компания Ericsson. Постепенно к этим исследованиям подключались и другие компании, которые образовали в 2002 г. специальную рабочую группу, в которую вошло уже 3000 компаний. Разрабатываемые этой группой технические решения получили название Bluetooth («Голубой зуб»). Разработанные в процессе исследований технические требования к оборудованию Bluetooth были приняты IEEE в качестве стандарта IEEE 802.15.1. Однако занятая этой проблемой рабочая группа продолжила свои исследования, в результате чего в конце 2003 г. были опубликованы два новых стандарта IEEE 802.15.3 «Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks» и IEEE 802.15.4 «Wireless Medium Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks». При этом принципы действия построения сетей Bluetooth сохранены только в первом из них, а второй представляет собой, по существу, новый стандарт, распространяющийся на СМРД, допускающие снижение скорости передачи информации (до 20 кбит/с вместо 400-700 кбит/с в сетях Bluetooth). Этот новый стандарт получил название ZigBee, связанное с подобием структуры его сетей с зигзагами (Zig-zag) полета пчелы (Bee) от цветка к цветку. [7, с.101]

В стандарте Bluetooth рассматривается дальность 100 м. Основные чипы оборудования имеют массу около 1 г, а его объем – примерно 1 куб. см. Мощность передатчика системы измеряется милливаттами и только для

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

дальности 100 м достигает 0,1 Вт. Такие передатчики сочетаются с небольшими ненаправленными антеннами, не превосходящими по размеру несколько сантиметров. При этом стоимость основных устройств таких сетей не превосходит 5-10 долл. США.

Удобство использования оборудования Bluetooth определяется еще и тем обстоятельством, что оно выполняется обычно либо в виде встраиваемых в компьютер ячеек, либо в виде адаптеров, соединяющихся с ним через штатный USB –порт. Поэтому, например, перевод ЛВС на беспроводные соединения вместо проводных не требует замены дорогостоящего оборудования сети, а обеспечивается всего лишь его дооснащением простыми и дешевыми адаптерами.

Отметим, что стандарт предусматривает работу системы Bluetooth в не требующем лицензирования («нелицензируемом») диапазоне частот 2,4–2,483 ГГц. Возможно также использование для этой цели диапазона 902-928 МГц.

Что касается режимов передачи информации, то в системе может обеспечиваться как непрерывная (сеансная) связь (голосовая передача), так и передача блоков данных отдельными пакетами. Передача данных может быть как симметричной (с одинаковыми скоростями в прямом и обратном направлениях – максимально порядка 435 кбит/с), так и асимметричной: 725 кбит/с в прямом и 58кбит/с в обратном направлениях. При этом скорость передачи голосовой информации по каналам связи составляет 64 кбит/с.

В интересах телефонной связи беспроводных соединениях Bluetooth используется для соединения :

- 1) мобильного телефона (трубки) с точкой доступа в ТфОП;
- 2) группа таких трубок внутри офиса или на небольшой территории между собой или для соединения трубки с гарнитурой;
- 3) мобильных трубок с точкой доступа сотовой сети.

Технология Bluetooth часто используется и для передачи видеoinформации между отдельными видеоустройствами, например, между цифровой видеокамерой и рабочей станцией в целях редактирования фильма. При этом для

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

передачи по сети Bluetooth изображение сжимается в соответствии со стандартом MPEG. [1, с.108]

Наконец, технология Bluetooth широко применяется для передачи информационных данных и управления (например, между компьютерами и периферийными устройствами ЛВС).

Сети Bluetooth позволяют, как отмечено выше, транслировать цифровые потоки с достаточно высокой скоростью (до 750 кбит/с) необходимо для целевого ряда применений. В то же время имеется большое число устройств (выключатели, бытовые и производственные датчики, устройства сигнализации и т.п.), для взаимодействия с которыми достаточно передача с гораздо меньшей скоростью (десятки кбит/с). Создание специализированных сетей БД для этих целей может позволить существенно сократить габарит и стоимость соответствующих устройств и, что не менее важно, обеспечивает резкое снижение их энергопотребления, так что при бессетевом питании срок подзарядки или замены батарей может быть увеличен до сотен или даже тысяч часов.

Эти перспективы и определили разработку стандарта IEEE 802.15.4, описывающего физически канальный уровни системы ZigBee. В 2002 г. был организован международный консорциум (альянс) ZigBee из более чем 90 потенциальных производителей оборудования по этому стандарту. Альянс занялся разработкой спецификации на сетевой и прикладной уровни стандарта ZigBee. Доработка обеих спецификаций продолжается и в настоящее время. Ее целью стало повышение гибкости использования сети (возможность адаптации скорости передачи информации к характеристикам радиоканала), а также совершенствовании процедур самоорганизации и самовосстановления сети при одновременном оборудовании.

Оборудование ZigBee, как и другие устройства малого радиуса действия, реализуется в нелицензируемых диапазонах частот: в Европе-868-868,6 МГц, Северной Америки 902-928 МГц, в остальном мире – 2400-2483,5 МГц. В диапазонах 868/915 МГц поддерживаются скорости на радиointерфейсе 20/40

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Кбит/с и, опционально, 100 и 250 Кбит/с. В диапазоне 2450 МГц поддерживается скорость на радиointерфейсе 250 Кбит/с. В зависимости от условий распространения радиоволн дальность односкачковой (без ретрансляции) связи устройств ZigBee составляет от 15 до 100 м. При ретрансляции эта дальность может быть увеличена в несколько раз в соответствии с числом промежуточных ретрансляций. Важнейшая особенность ZigBee – простота установки и обслуживания, основанная на свойстве самоорганизации таких сетей. Это позволяет пользователю самому без каких-либо усилий создавать и расширять сети ZigBee. Без настроек 2 устройства, оборудованные аппаратурой ZigBee, устанавливаются соединения как только расстояние между ними оказывается достаточно малым. Таким образом, например, ZigBee – выключатель может быть «подключен» для управления лампой накаливания, после чего будет обеспечивать ее дистанционное включение и выключение.

В состав оборудования ZigBee входят устройства двух типов: полнофункциональные (устройство полной функциональности – УПФ) устройства ограниченной функциональности (УОФ). Отличаются они в основном производительностью и объемом памяти микроконтроллеров и, соответственно, ценой. УОФ предназначена для реализации оконечных узлов сети, принимающих минимальное участие в поддержании сетевых функций. Стандарт предусматривает, что оконечные устройства большую часть времени прибывает в «спящем» состоянии, отличающемся весьма низким энергопотреблением, и потому допускают длительную автономную работу от химических источников тока. УОФ могут работать только с УПФ в то время как УПФ могут работать и между собой.

УПФ, естественно, могут выполнять функции оконечного узла сети, хотя к их ключевым функциям относятся работа в режимах координатора сети и маршрутизатора. Как правило, полнофункциональные устройства подключают к сетевому источнику питания, хотя наметилась тенденция совершенствования

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

сетевых протоколов ZigBee в направлении снижения энергопотребления маршрутизаторов и увеличения длительности их автономной работы.

Можно выделить наиболее важные направления сети ZigBee:

- автоматизации зданий включающие обеспечения связи с датчиками температуры, влажности, освещения, вентиляции, пожарной сигнализации, кондиционирования и т.п.; управления освещением и другими системами ЖКХ в соответствии с показаниями этих датчиков;
- дистанционное считывание показаний расхода электроэнергии и воды и др.
- системы сигнализации и аварийного оповещения;
- беспроводные устройства обмена информации; автомобильная электроника.

Системами Bluetooth и ZigBee множество СМРД не исчерпывается. Кроме сетей этих двух типов, которые по разнообразию возможных областей использования можно назвать универсальными, существуют множество специализированных СМРД, каждая из которых предназначена для решения некоторого сравнительно узкого круга задач. Таким узким кругом задач является интеллектуальная транспортная система (ИТС).

## 1.2 Интеллектуальная транспортная инфраструктура

Современная интеллектуальная транспортная система (ИТС) сводит в единый технический и технологический комплекс подсистемы организации и обеспечения безопасности дорожного движения, а также предоставления информационных сервисов участникам и потенциальным субъектам транспортного процесса. Построение ИТС невозможно без разработки и реализации проектных решений по формированию различных вариантов взаимодействия подсистем и обмена информацией между ними. Наряду с проводными сетями передачи данных важную роль в работе ИТС играют

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

беспроводные сети, для реализации которых одним из необходимых условий является наличие радиочастотного ресурса. Проблема аварийности, связанная с транспортными средствами (ТС), в последние годы приобрела особую остроту в связи с несоответствием дорожно-транспортной инфраструктуры потребностям общества и государства в безопасном дорожном движении, недостаточной эффективностью функционирования системы обеспечения безопасности и крайне низкой дисциплиной участников дорожного движения.

Одним из наиболее значимых инструментов решения данной проблемы и явилось создание и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Концептуально организационная структура ИТС состоит из трех иерархических уровней, следующих снизу вверх в таком порядке:

1. Представительский, объединяющий федеральное и местное правительство, общественные организации, институты и частных лиц. На этом уровне вырабатываются правила, нормы и требования к организации транспортной инфраструктуры.

2. Транспортный, состоящий из собственно дорог, технических средств управления дорожным движением, ТС, диспетчерских, дорожной полиции, водителей и окружающей среды, оказывающей непосредственное влияние на всю транспортную инфраструктуру.

3. Коммуникационный, охватывающий оборудование, обеспечивающее взаимодействие ТС с объектами транспортной инфраструктуры и между собой, а также сервисы и приложения, поддерживающие потребности пользователей системы.

Конечной целью создания ИТС является решение таких задач, как управление общими транспортными потоками, организация движения общественного транспорта, электронные платежи, обеспечение необходимыми сервисами коммерческих перевозчиков, управление автомобилями экстренных служб, повышение безопасности дорожного движения, информационная и техническая поддержка водителей. Для работы подсистем ИТС необходимы три

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

основных компонента: радиосистема высокоточного навигационного обеспечения, системы электронно-картографического обеспечения и системы подвижной радиосвязи различного радиуса действия.

Современная транспортная инфраструктура немыслима без точных систем навигации и электронной картографии, позволяющих определять местоположение ТС, выстраивать оптимальные маршруты движения, анализировать характеристики транспортных потоков. В мире существует несколько систем глобального позиционирования, находящихся на разной стадии готовности: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, IRNSS, QZSS; из них только первые две полностью функциональны и представлены в нашей стране. [3, с.32]

В России ключевым проектом по повышению безопасности дорожного движения выступает система «ЭРА-ГЛОНАСС». Эта система спутникового мониторинга транспорта предназначена для автоматического оповещения служб экстренного реагирования при авариях и других чрезвычайных ситуациях и нацелена на снижение уровня смертности и травматизма на дорогах. Система включает навигационно-телекоммуникационные терминалы, устанавливаемые на ТС, и соответствующую инфраструктуру операторов мобильной связи и экстренных служб. «ЭРА-ГЛОНАСС» полностью совместима с аналогичной европейской инициативой eCall/E112. Транспортные системы с их территориальной распределенностью представляют собой идеальный объект автоматизации посредством геоинформационных систем (ГИС). Пространственная составляющая является естественной основой интеграции задач управления транспортной инфраструктурой, оперативного управления, навигации, расчетных задач и т. д. ГИС позволяют создавать трехмерные планы терминальных комплексов, транспортных предприятий, комплексную модель автомобильных и железных дорог, прилегающих территорий. Полученная информация применяется в электронной картографии, создавая возможность эффективно управлять имуществом транспортных предприятий, строить схемы движения общественного и прочего транспорта, особенно в городской среде,

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

осуществлять оперативный мониторинг ТС и грузов, выполнять транспортное районирование, вести контроль состояния дорожного покрытия. Функционирование навигационных систем в связке с ГИС позволяет точно определять местоположение ТС на карте, вести мониторинг их движения. Однако подобное совместное использование невозможно без средств подвижной связи.

Современная транспортная тематика имеет широкий спектр применений и обеспечивает решение самых разных задач ИТС. Одним из средств повышения безопасности и информирования водителя о событиях на дороге являются радары: малого радиуса действия (работающие на частотах 22,00—26,65 ГГц), дальнего действия (76—77 ГГц) и широкополосные (77—81 ГГц). Они используются в системах адаптивного круиз-контроля, предотвращения столкновений, помощи при перестроении, автоматической парковки и др. Для упрощения и автоматизации процедур оплаты услуг, контроля перемещения грузов и идентификации ТС служат RFID-системы, позволяющие проводить автоматическую идентификацию объектов посредством радиосигналов, считывающих или записывающих данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках. В качестве основных систем связи и передачи данных применяются технологии подвижной радиотелефонной связи, Wi-Fi и DSRC. К системам передачи данных, отвечающим за безопасность в транспортных сетях, предъявляются строгие требования, обусловленные спецификой ИТС. Конфигурация подобных сетей постоянно варьируется, и, чтобы быстро изменять маршруты следования информационного потока, применяются mesh-технологии. Сигналы, генерируемые движущимся источником электромагнитного излучения, подвержены эффекту Доплера, что требует использования узкополосных импульсов для передачи данных. Условия распространения сигналов не постоянны, на их пути появляются и исчезают различные препятствия, поэтому следует использовать помехоустойчивое кодирование с динамически меняющимися параметрами. Для ускорения процесса обмена данными, особенно между двумя находящимися рядом автомобилями,

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

желательно, чтобы информация передавалась по кратчайшему пути, минуя, например, сервер провайдера, а для реализации подобной функции время вхождения в сеть должно быть минимальным. Данные требования могут быть удовлетворены в рамках как существующих, так и находящихся на стадиях разработки и исследования беспроводных технологий. Среди действующих надо назвать DSRC, технологии систем 4G (LTE-Advanced, IEEE 802.16m и 802.16j) и технологии построения гибридных наземно-спутниковых систем.

### 1.3 Технология малого радиуса действия DSRC

Технология DSRC является единственной, созданной специально для целей беспроводной передачи данных в ИТС: она поддерживает весь спектр необходимых сервисов по управлению, контролю и обеспечению безопасности дорожного движения.

Технология DSRC поддерживает также навигационные задачи — позиционирование с геодезической точностью транспортных средств относительно друг друга или относительно объектов инфраструктуры, жестко привязанных к какому-то объекту, например, к светофору, координаты которого известны. В этом смысле устройства, которые раньше не могли позиционироваться как средства, предоставляющие объективную информацию (в частности, системы измерения), могут фиксировать какую-то ситуацию и использоваться при доказательстве в случае происшествия. Особое место в инфраструктуре ИТС занимают беспроводные сети, а ключевым фактором их функционирования является наличие радиочастотного ресурса. Различные варианты реализации беспроводного сегмента ИТС предусматривают использование свободных полос частот в определенных диапазонах за счет динамического доступа к спектру, принципов когнитивного радио,

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

искусственного интеллекта и т. д. Оптимальным для ИТС является частотный диапазон 5855—5925 МГц, опять же соответствующий стандарту DSRC. [7, с.70]

Оборудование на базе DSRC — одно из самых рациональных и отработанных, поскольку использует, во-первых, стандартизованный протокол IEEE 1609, отвечающий за канальный и более высокие уровни, включая уровень безопасности соединений, а во-вторых, семейство протоколов IEEE 802.11.p, описывающих физический уровень. Эти международные стандарты и позволяют строить сети без необходимости создания дорогостоящей инфраструктуры при минимальных расходах на центры обработки данных, а также решать проблему оперативной передачи информации между автомобилями и объектами транспортной инфраструктуры. Еще один «бонус» таких решений — взаимодействие транспортных средств вне зоны действия традиционных систем связи, в том числе подвижной радиосвязи, которую предлагают сотовые операторы. А если вспомнить о дефиците частотного ресурса, особенно для подвижной связи, то немаловажным преимуществом DSRC-оборудования является еще и то, что эта технология позволяет использовать частотные ресурсы, не востребованные традиционными операторами подвижной связи. Автомобили, оборудованные такого рода радиостанциями, могут непосредственно связываться друг с другом, причем не только внутри города, но и вне населенных пунктов. Как известно, обеспечение радиочастотным спектром (РЧС) систем радиосвязи в нашей стране осуществляется установленным порядком — на основании решений Государственной комиссия по радиочастотам (ГКРЧ). [2, с.30]

В то же время для систем малого радиуса действия, применяемых в транспортных сетях беспроводной передачи данных, специальным решением ГКРЧ оговорена возможность работать без оформления разрешений на использование радиочастотных каналов, если мощность их излучения не превышает определенного уровня. Но в этом случае приходится учитывать существенные ограничения.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Технология DSRC в первую очередь нацелена на решение проблемы безопасности. Когда, например, в район перекрестка по двум разным дорогам и с разными скоростями движутся, не видя друг друга, два автомобиля, весьма велика вероятность аварийной ситуации. DSRC-оборудование поддерживает автоматизацию управления дорожным движением: программное приложение, обеспечивающее быструю связь между транспортными средствами и индикацию вероятности негативных событий, помогает водителю мгновенно оценить обстановку и принять правильное решение. В результате коллизию удастся предотвратить. Особенно остро в последнее время стоит, как известно, вопрос парковок. С помощью технических средств на основе DSRC можно определять оптимальное местоположение паркинга, передавать на информационный ресурс данные о наличии парковочных мест, доставлять по сети эту информацию соответствующему транспортному средству, прокладывать маршрут, помогая водителю быстрее добраться до конечного пункта.

Устройства, оснащенные DSRC, могут связываться не только между собой, но и с оборудованием на стороне дорожной инфраструктуры. Это открывает возможность широкомасштабного информационного взаимодействия, достаточно тонкого информирования водителя о том, где находится его автомобиль относительно, скажем, дорожной разметки или намеченного маршрута. DSRC-сервисы плавно подготавливают водителей к изменению маршрута, посылая сигнал-предупреждение о дорожных знаках, скоростных ограничениях и т. д. Перечень приложений на базе DSRC, бесконечен, потому что технология представляет собой телекоммуникационную основу сервисов, которые могут «навешиваться» на систему в виде специальных программных средств, созданных по принципу сервер-клиент. При этом клиентская часть обращается через прозрачную телеком-среду к программной и информационной службе, а та, в свою очередь, обеспечивает решение тех или иных задач в процессе движения или на стоянке.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Система на базе DSRC предназначена для предупреждения чрезвычайной ситуации. У стандарта DSRC скорость соединения — десятки миллисекунд (против десятков секунд у Wi-Fi), а для движущихся транспортных средств это критично. На базе такого оборудования некоторые автопроизводители уже разрабатывают технологию совместного движения колонн автотранспортных средств или единого управления несколькими автомобилями.[10, с.89]

Устройства DSRC, созданные в соответствии с международными стандартами IEEE 802.11p и IEEE 1609, позволяют решать проблему оперативной передачи данных между автомобилями и объектами транспортной инфраструктуры с одновременной минимизацией расходов на центры обработки данных, без создания дорогостоящей инфраструктуры и задействования глобальных каналов коммуникаций.

Дополнение DSRC технологиями динамической маршрутизации для построения одноранговых сетей, DTN (Delay&Disruption-Tolerant Networking – сетей, устойчивых к задержкам), глобального геопозиционирования ГЛОНАСС/GPS позволяет решить большинство проблем, характерных для традиционных систем управления и связи. Кроме того, данная технология позволяет существенно повысить технические характеристики системы за счёт размещения средств первичной обработки данных непосредственно на приёмо-передающих устройствах без отправки больших объёмов информации в вычислительные центры.

Благодаря таким технологиям, стали возможны не только автоматизация и интеллектуализация управления дорожным движением, а также построение системы эффективного предотвращения столкновений, но и создание открытой платформы для конструирования целевых решений масштаба, сходного с масштабом «умных городов».

Технологии хорошо сочетаются с существующими решениями в области геопозиционирования, интерфейсами и протоколами передачи данных, кооперируются с мобильной и наземной связью и дополняют традиционные ИТС-

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

решения в тех случаях, когда скорости, надёжности и гибкости других систем связи оказывается недостаточно. Решения на базе DSRC признаны в мире как наиболее рациональные, дешёвые и современные в своей области и интенсивно развиваются при поддержке автопроизводителей, академического сообщества и индустриальных альянсов.

В результате внедрения инфокоммуникационных технологий в городскую инфраструктуру могут быть реализованы следующие компоненты интеллектуального города:

- управление дорожным движением (централизованное управление элемента-ми дорожной инфраструктуры; централизованное и локальное адаптивное управление дорожным движением; возможность автоматизации приоритетного проезда общественного и спецтранспорта; оперативная информация о плотности и скорости транспортных потоков в городе; оперативная информация о событиях в городской дорожной обстановке; оперативная информация об авариях и поломках на городском транспорте; диспетчеризация пассажиропотоков на основе информации о загруженности маршрутов; оптимизация маршрутов городского транспорта);

- безопасность (система оповещения пассажиров и водителей на транспорте; сохранение работоспособности сети при локальных или глобальных отключениях электроэнергии в городе за счёт автомобильных источников тока; возможность размещения на городском транспорте аудио- и видеорегистраторов, веб-камер, газоанализаторов, измерителей уровня радиации и т.п. для получения оперативной информации в городском ситуационном центре и всех заинтересованных ведомствах об обстановке на транспорте и в городе в целом; организация службы «тревожной кнопки» на транспорте с возможностью оперативной аудио- и видеосвязи с конкретным транспортным средством; глобальная диспетчеризация городского транспорта в случае возникновения чрезвычайной ситуации);

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

– сервис для пассажиров (информация о времени прибытия транспорта; новые удобные формы оплаты проезда; дополнительная информация и реклама на транспорте);

– услуги для города в целом (повышение ёмкости телекоммуникационных сетей; развитие услуг для государственных оперативных служб; вывод на рынок новых телекоммуникационных услуг).

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

## 2 АНАЛИЗ СТАНДАРТА IEEE 802.11P

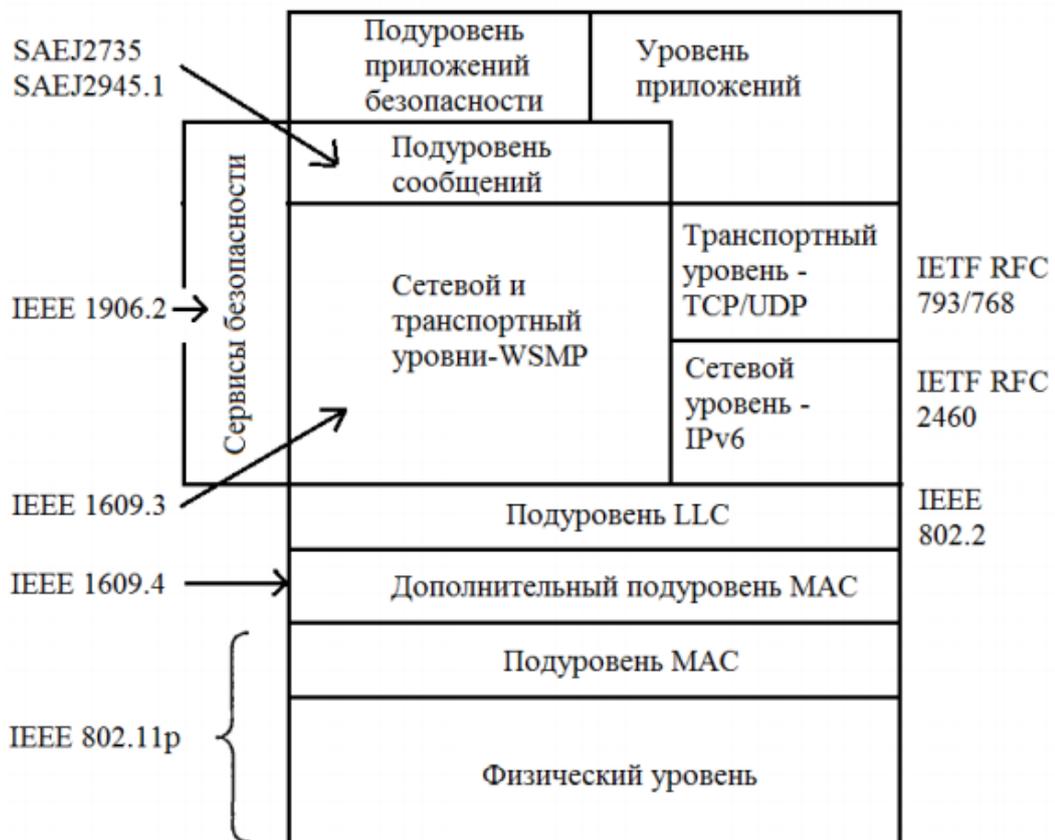
### 2.1 Стек протоколов стандарта IEEE 802.11p

Первоначально технология DSRC была описана в поправке № 6 (IEEE 802.11p) к стандарту IEEE 802.11-2007, но с выходом IEEE 802.11 2012 [2] стандарт IEEE 802.11p был отменен и теперь входит в состав IEEE 802.11, подобно поправкам IEEE 802.11s, IEEE 802.11v и пр. Появление стандарта DSRC было вызвано необходимостью разработки решения, эффективно предотвращающего столкновения транспортных средств. Суть DSRC — в постоянном обмене информацией, такой как местоположение, скорость, ускорение и пр., между ТС (Vehicle-to-Vehicle, V2V), а также между ТС и объектами дорожной инфраструктуры (Vehicle-to-Infrastructure, V2I). На транспортные средства устанавливаются бортовые устройства (On Board Unit, OBU), а вдоль дорог, на перекрестках и объектах транспортной инфраструктуры — дорожные устройства (Roadside Unit, RSU). Устройства, поддерживающие стандарт DSRC, работают в особом режиме (Outside the Context to fBSS, OCB), что позволяет им обмениваться сообщениями мгновенно, без предварительной организации сети. OBU постоянно посылает в эфир сообщения, содержащие данные о его координатах, скорости и ускорении, в то же время принимая подобные сообщения от других OBU и RSU. Путем сравнения полученных извне параметров других ТС и собственных значений скорости и координат, OBU вычисляет траекторию движения ТС и вероятность его столкновения с другими участниками дорожного движения, о чем сообщает водителю, а в случае приближения этой вероятности к критическому порогу активирует экстренное торможение. RSU, стоящее на перекрестке, может, например, информировать ТС о режиме работы светофора и оптимальной скорости движения для проезда перекрестка без остановки; RSU, установленное вдоль дороги, способно сообщать

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

ОБУ рекомендуемую безопасную скорость проезда опасного участка. Другой важной причиной возникновения системы DSRC стала потребность в эффективном средстве бесконтактного автоматического сбора платежей за проезд платных участков дорог, услуги парковки и прочие сервисы. Использование приемников ГЛОНАСС/GPS на RSU, при условии наличия их точной геодезической привязки, позволяет передавать на ОБУ поправку в определении координат ТС.

На рисунке 2.1 представлен стек протоколов, применяемых на различных уровнях модели OSI. На физическом и MAC- уровне DSRC использует протокол, который является измененной версией стандарта IEEE 802.11 – IEEE 802.11p.



**Рисунок 2.1 – Стек протоколов модели OSI**

Верхние уровни, стека DSCR включает набор стандартов, предложенный рабочей группой IEEE 1609 (WAVE):

- IEEE 1609.2 обеспечивает безопасность передаваемой информации;
- IEEE 1609.3 реализует функции на сетевом и транспортном уровнях, включая протокол коротких сообщений WSMP (WAVE Short Message Protocol);
- IEEE 1609.4 обеспечивает коммутацию каналов.

Технология DSRC поддерживает известные протоколы сетевого и транспортного уровней IPv6, пользовательский протокол дейтаграмм (UDP) и протокол управления передачей (TCP). Выбор между WSMP или IPv6+UDP/TCP зависит от требований конкретного приложения.

## 2.2 Анализ видов модуляции стандарта IEEE 802.11p

Стандарт IEEE 802.11p использует следующие виды модуляции:

BPSK – двухпозиционную фазовую модуляцию и QPSK – квадратурную фазовую модуляцию. Ансамбль двумерных PSK сигналов  $S=\{s_k(l)\}$  описывается выражением

$$s_k(t) = g(t) \cos\left(\frac{2\pi(i-1)}{M}\right) \cos(2\pi f_0 t) - g(t) \sin\left(\frac{2\pi(i-1)}{M}\right) \sin(2\pi f_0 t), \quad i = 1, \dots, M, \quad (2.1)$$

где:

$$g(t) = \begin{cases} \sqrt{2E_s/T}, & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t \notin (0, T), \end{cases} \quad (2.2)$$

где:  $E_s$  – энергия сигнала.

Ортонормированный сигнальный базис  $B=\{\Phi_k(l)\}$  состоит из двух функций:

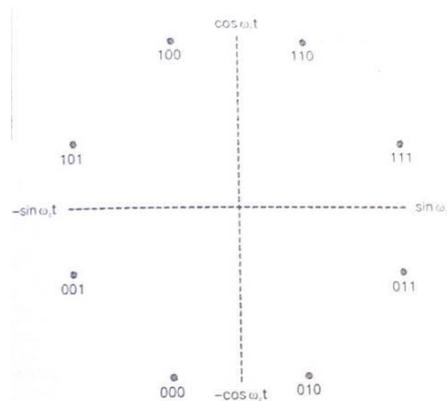
$$\Phi_1(t) = \frac{g(t)}{\sqrt{E_s}} \cos(2\pi f_0 t), \quad \Phi_2(t) = -\frac{g(t)}{\sqrt{E_s}} \sin(2\pi f_0 t), \quad (2.3)$$

Соответствующее M-PSK созвездие описывается M векторами (точками),

$$s_k = \left[ \sqrt{E_s} \cos\left(\frac{2\pi(i-1)}{M}\right), \sqrt{E_s} \sin\left(\frac{2\pi(i-1)}{M}\right) \right]^T, \quad i = 1, \dots, M, \quad (2.4)$$

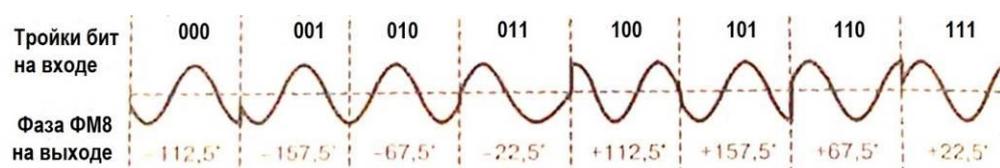
					<b>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

которые равномерно распределены по окружности радиусом  $\sqrt{E_s}$  (пример созвездия PSK-8 представлен на рисунке 2.2).



**Рисунок 2.2 – Сигнальное созвездие сигнала PSK-8**

Следует также отметить, что коды трибитов, соответствующие двум соседним фазам, отличаются только на один бит. Этот тип кода называется кодом Грея или иногда – кодом максимального расстояния. Этот код используется для сокращения количества ошибок передачи. Если во время передачи сигнала происходит сдвиг фазы, то наиболее вероятно, что он сместиться к соседнему вектору, тогда только один бит будет передан с ошибкой. На рисунке 2.3 показаны изменения фазы сигнала на выходе модулятора PSK-8 во времени.



**Рисунок 2.3 – Осциллограмма сигнала на выходе модулятора PSK-8**

Из рисунка 2.3 видно, что сигнал принимает 8 различных состояний фазы, при этом его огибающая остаётся постоянной. Постоянство огибающей связано с ограничением на исходное множество модуляционных символов  $S$  или другими словами на комбинацию уровней в квадратурных каналах.

А также стандарт IEEE 802.11p использует такие виды модуляции, как 16QAM и 64QAM. Ансамбль двумерных QAM сигналов  $S=\{s_k(l)\}$  описывается следующим выражением:

$$s_k(t) = g(t)I(k)\cos(2\pi f_0 t) - g(t)Q(k)\sin(2\pi f_0 t), \quad k = 1, \dots, \sqrt{M}, \quad (2.5)$$

где:

$$g(t) = \begin{cases} \sqrt{2/T}, & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t \notin (0, T), \end{cases} \quad (2.6)$$

Ортонормированный сигнальный базис  $B=\{\Phi_k(l)\}$  состоит из двух функций:

$$\Phi_1(t) = g(t)\cos(2\pi f_0 t), \quad \Phi_2(t) = -g(t)\sin(2\pi f_0 t), \quad (2.7)$$

Все сигналы QAM ансамбля в таком базисе представляются векторами

$$s_k = [I_k, Q_k]^T, \quad k \in \{1, 2, \dots, \sqrt{M}\} \quad (2.8)$$

которые образуют прямоугольное M-QAM созвездие. На плоскости  $\mathbb{R}^2$  оно изображается M точками, равномерно заполняющими квадрат со сторонами  $2d(\sqrt{M}-1)$ . Пример сигнального созвездия для QAM-16 представлен на рисунке 2.4.

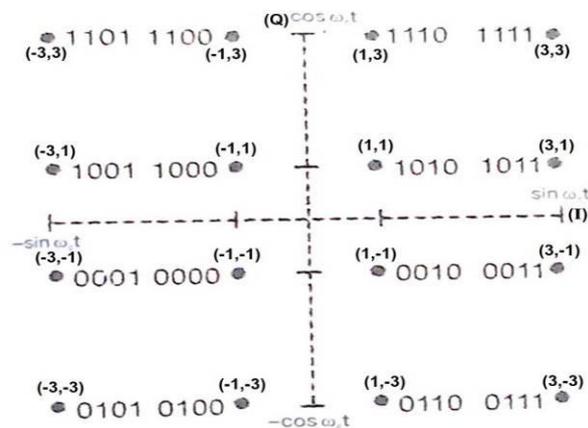


Рисунок 2.4 – Сигнальное созвездие сигнала QAM-16

Из рисунка видно, что входные данные группируются по четыре бита ( $2^4=16$ ) и в выходном сигнале модулятора изменяется фаза и амплитуда. Выходной сигнал имеет 16 различных состояний, которые представляют собой

различные комбинации фазы и амплитуды, а подобная совокупность называется сигнально-кодовой конструкцией (см. рис. 2.5).

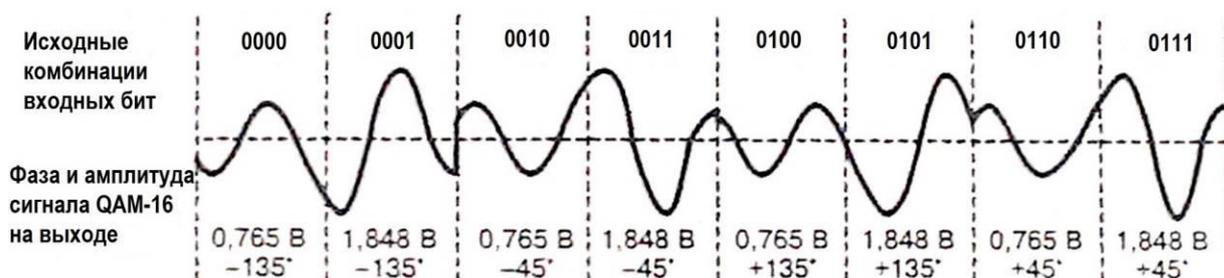


Рисунок 2.5 – Осциллограмма сигнала на выходе модулятора QAM-16

Как видно из рисунка 2.5 в системе с QAM комбинации не ограничиваются, поскольку уровни в каждом канале выбираются независимо. Таким образом, огибающая сигнала непостоянная и меняется вместе с фазой согласно входной комбинации группы бинарных символов.

При цифровой модуляции модулированный сигнал представляет собой цепку радиоимпульсов с фиксированными значениями амплитуды, частоты и начальной фазы. При этом, как правило, радиоимпульс состоит из четного числа периодов гармонического ВЧ заполнения. Тогда сигнал состоящий из  $n$ -цифровых элементов (фрагментов) можно представить следующей математической моделью:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [S_n \cdot \cos(2\pi f_n t + \varphi_n) \times \{h(t - n\tau) - h(t - (n+1)\tau)\}], \text{ где } h(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

Спектр такого сигнала сосредоточен вблизи несущих частот и боковые полосы соответствуют или аналогичны спектру одиночного прямоугольного импульса.

Структурная схема модулятора сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ) изображена на рисунке 2.6, а структурная схема когерентного демодулятора - на рисунке 2.7.

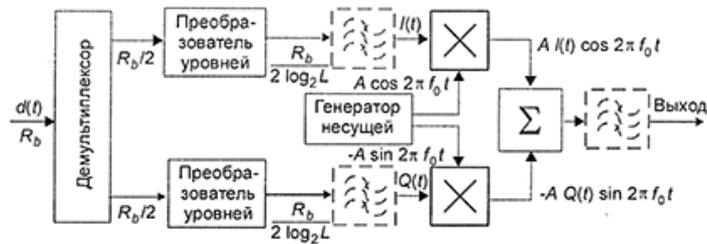


Рисунок 2.6 - Структурная схема модулятора КАМ сигнала



Рисунок 2.7 - Структурная схема когерентного демодулятора КАМ сигнала

Здесь переданные символы сообщения восстанавливаются путем независимого сравнения выделенных квадратурных составляющих принимаемого сигнала с порогами в двух многопороговых решающих устройствах. Если  $\log_2 M$  является четным числом, то структура демодулятора оптимальна в смысле критерия максимального правдоподобия. При нечетном количестве битов, приходящихся на символ сообщения, сигнальные созвездия пересекаются и их сигнальные точки могут принадлежать одной и той же прямоугольной сетке. Исключение составляет случай  $M=8$ .

В формулах  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$  – интеграл ошибок,  $M$  – число позиций для многопозиционных видов модуляции,  $BER$  – вероятность ошибки на бит.

Из формулы видно, что с увеличением позиционности модуляции, вероятность битовой ошибки увеличивается (см.,  $M$ -PSK,  $Q(x)$  является

убывающей функцией аргумента). Таким образом, как правило, при увеличении спектральной эффективности энергетическая эффективность уменьшается.

QAM код Грея	<p>для <math>k = \log_2 M</math>, <math>k</math> – четное:</p> $BER = \frac{2P_0 - P_0^2}{\log_2 M}, \text{ где}$ $P_0 = \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M}} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{M - 1} \frac{E_b}{N_0}}\right)$ <p>для нечетных <math>k</math>:</p> $BER \leq \frac{1}{\log_2 M} \left[ 1 - \left( 1 - 2Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{M - 1} \frac{E_b}{N_0}}\right) \right)^2 \right]$
--------------	---

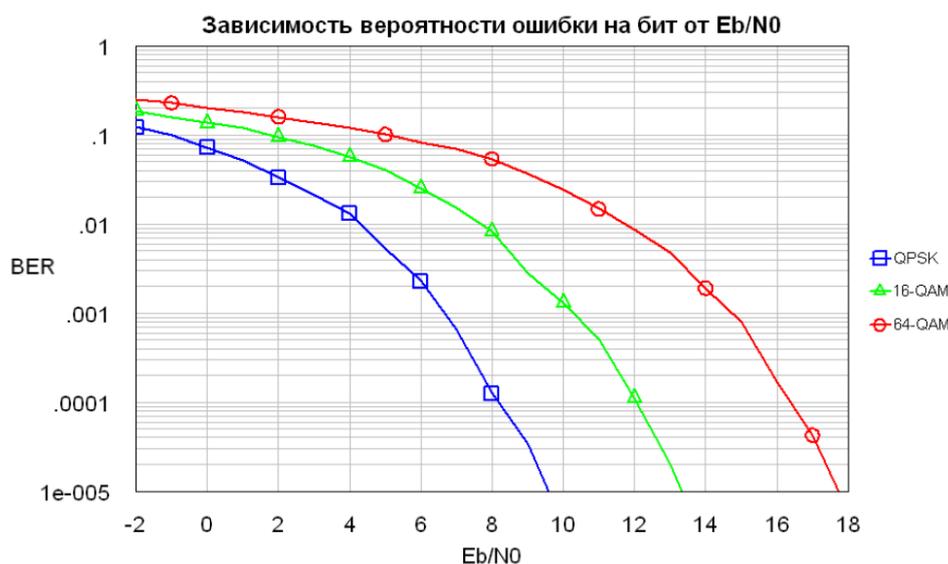
**Рисунок 2.8 – QAM код Грея**

Помехоустойчивость m-PSK модуляции описывается следующим образом:

M-PSK код Грея	$\frac{2}{\log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{2E_b \log_2 M}{N_0} \sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right)}\right)$
----------------	--

**Рисунок 2.9 – M-PSK код Грея**

Кривые помехоустойчивости изображены на рисунке 2.10.



**Рисунок 2.10 -Кривые помехоустойчивости**

Особенностью цифровой модуляции гармонических несущих является то, что каждой из комбинаций цифрового сигнала соответствует своя собственная комбинация значений амплитуды, частоты и фазы или определённый переход от одной группы значений к другой. В первом случае реализуется абсолютная модуляция, во втором – относительная.

Соответствие цифровых сигналов и параметров гармонической несущей устанавливается таблицами истинности, либо сигнально-кодowymi диаграммами.

Базовый стандарт IEEE 802.11 – 2007 определяет три типа физического уровня с полосой 20, 10 и 5 МГц. Изменение типа физического уровня задается частотой тактового генератора. Для стандарта 802.11a используется полная частота тактового генератора (полоса частот при этом составляет 20 МГц), а для стандарта 802.11р – половинная частота тактового генератора (полоса частот соответственно 10 МГц). При использовании пониженной частоты тактового генератора в сигнале физического уровня 802.11р по сравнению с сигналом 802.11a происходят изменения параметров: длина символов увеличивается вдвое, за счет чего повышается устойчивость к замираниям. В таблице 2.1 приведены характеристики стандарта 802.11р на котором основана технология DSRC.

**Таблица 2.1 – Технические характеристики стандарта 802.11р**

Параметры	IEEE 802.11р
Скорость передачи информации на физическом уровне, Мбит/с	3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 27
Виды модуляции	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Скорость кодирования	1/2, 2/3, 3/4
Количество поднесущих	52
Длительность символа, мкс	8
Защитный интервал, мкс	1,6

### Окончание таблицы 2.1

Длительность FFT-преобразования, мкс	6,4
Длительность преамбулы, мкс	32
Полоса частот на поднесущей, МГц	0,15625

Технология DSRC является разновидностью технологии Wi-Fi для применения на движущемся транспорте и обеспечивает следующие характеристики:

- практически мгновенное (менее 1/4 секунды) соединение;
- передача данных на скоростях до 100 мегабит на дальность до 1 км;
- устойчивая работа при движении транспорта со скоростью до 250 км/ч.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

### **3 РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА НАЗЕМНЫМ ГОРОДСКИМ ТРАНСПОРТОМ**

#### **3.1 Общая структура системы интеллектуального управления и мониторинга наземным городским транспортом и её схема внедрения**

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – комплекс взаимосвязанных автоматизированных систем, решающих задачи управления перевозками, дорожным движением, спутникового мониторинга и управления работой всех видов транспорта (индивидуального, общественного, грузового), информирования граждан и предприятий об организации транспортного обслуживания на территории региона.

Необходимость разработки эффективной информационной системы для управления пассажирским транспортом вызвана нехваткой у населения информации, касающейся маршрутов, а также высоким уровнем дорожных происшествий и недостаточным контролем предоставления услуг населению.

Разрабатываемая система позволит жителям города получать актуальную информацию о расписании общественного транспорта. Для этого необходимо предпринять следующие шаги. Во-первых, планируется открытие диспетчерских центров, во-вторых – внедрение автоматизированных систем управления движением. Такие системы смогут предоставить актуальную картографическую информацию о состоянии дорог, а также дадут возможность управлять общественным транспортом при помощи навигационных систем. Кроме того, они будут содержать информацию об инфраструктуре региона, что также существенно облегчит работу.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Реализация интеллектуальной системы управления городским транспортом принесет огромный эффективный выигрыш от управления транспортом. Автотранспортные предприятия и транспортные отделы предприятий будут иметь такой выигрыш, как снижение затрат, повышение качества оказываемых с использованием транспорта услуг, снижение числа нарушений и злоупотреблению. Заказчики транспортных услуг получают эффективный выигрыш в виде высокого качества транспортных услуг, снижения их стоимости. Для населения данная система повысит удобства пользования общественным транспортом, повысит безопасность на транспорте, улучшит экологическую обстановку. Органы власти и ведомства смогут вести эффективный контроль над перевозчиками, объемами и качеством перевозок. Как видно из выше сказанного, данная система хороша тем, что выигрыш получают не только автотранспортные предприятия.

Интеллектуальная система управления и мониторинга решит такие задачи как:

обеспечение выполнения заданий: соблюдение графика движения ТС, обнаружение отклонений от маршрута, выполнение работ в заданных зонах;

обнаружение нарушений условий эксплуатации ТС и злоупотреблений: нецелевое использование ТС, нарушение скоростного режима, нарушение правил эксплуатации агрегатов ТС, слив топлива;

обеспечение безопасности пассажиров: контроль температуры и реагирование на задымление в салоне, тревожная кнопка, передача изображения с установленной на борту ТС фотовидеокамеры в диспетчерский центр;

охрана ТС.

В предлагаемой интеллектуальной системе возможно несколько вариантов управляющих воздействий на транспортные средства и водителя. Воздействия могут быть произведены с помощью голосовой связи диспетчера с водителем, с помощью передачи текстовых сообщений водителю, с помощью дистанционного

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

изменения параметров работы узлов /агрегатов ТС, с помощью дистанционной блокировки узлов /агрегатов ТС.

Внедрение современных систем управления транспортом открывают широкие возможности:

- Планирование транспортной работы. Ввод нарядов и заданий на перевозку и работы.

- Непрерывный контроль движения транспортных средств по маршруту, оперативное выявление отклонений от маршрута и нарушений графика движения, контроль нахождения ТС /выполнения работ в заданных зонах.

- Широкие возможности контроля оборудования: включение зажигания, открытие /закрытие дверей кабины и кузова, включение таксометра, подъем кузова, выдвижение стрелы автокрана, вращение миксера, сцепка /расцепка прицепа, срабатывание штатной сигнализации, отключение аккумуляторной батареи, нажатие тревожной кнопки, контроль температурного режима и др.

- Многообразие возможностей применения системы: контроль времени и места погрузки /выгрузки, начала /окончания движения, работы спецтехники и устройств, посадки /высадки пассажиров, нарушения условий аренды автомобиля и др.
- Обеспечение голосовой связи с водителем.

- Возможность скрытой установки терминалов, ГЛОНАСС/GPS и GSM антенн.
- Охранно-поисковые функции с возможностью блокировки двигателя, включения сирены и аварийно-световой сигнализации.

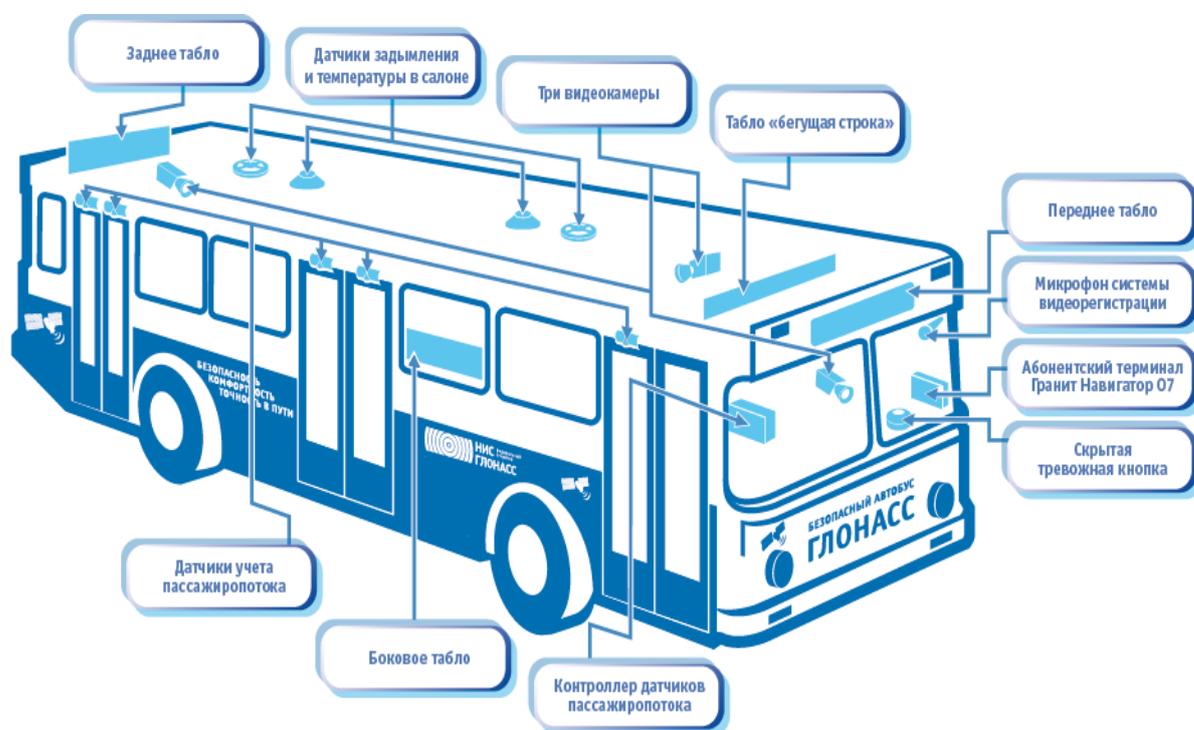
- Формирование разнообразной аналитической отчетности.

Предлагаемая система представляет собой распределенную вдоль основных транспортных путей сеть устройств, по сбору информации с датчиков или меток установленных на городском автотранспорте. Во время движения транспорта и его перемещении информация постоянно передается на устройства по сбору информации. И полученные данные которые представляют собой информацию о месте положения средства, количества свободных мест в салоне и т.п. передаются на центральный сервер. На центральном сервере программа контролирует

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

движение и по скорости движения вычисляет ориентировочное время прибытия транспорта на остановку. При этом если вычисленное время не совпадает с установленным расписанием движения система выдает рекомендации водителю на дисплей устройства. Информация с меток будет стекаться на сервер в ЦОД и там система будет контролировать каждую транспортную единицу (ускориться ему или замедлиться) для прибытия на остановку вовремя. Маршрутки и прочий транспорт должны пребывать на остановки с определенным временным шагом, чтобы исключить заторы.

Внедрение такой системы позволит более равномерно распределить движение маршрутных транспортных средств и минимизировать заторы и избыток транспортных средств на остановках. Также система позволит контролировать каждый автобус или маршрутное такси на предмет времени выхода на маршрут и время ухода с него. Оценивать перегруз пассажирами (превышение максимального количества мест или массы).

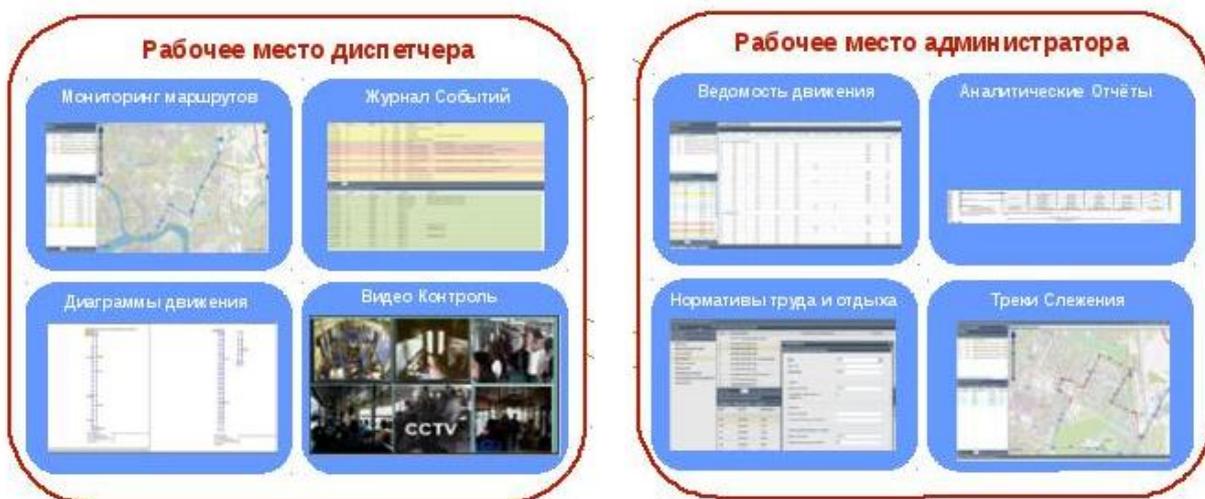


**Рисунок 3.1 – Схема внедрения автоматизированных систем управления движением в городской транспорт**

Реализация интеллектуальной системы управления городским транспортом позволит обеспечить:

- Оперативный сбор и передача данных в центр управления движением в режиме реального времени;
- Анализ поступающей информации;
- Оперативное регулирование транспортных потоков и информирование участников движения о ситуации на улично-дорожной сети;
- Определение интенсивности движения и пассажиропотока;
- Формирование и контроль графика пассажирских перевозок;
- Обеспечение оптимального режима движения для сокращения времени в пути;
- Автоматизация оплаты за проезд в городском транспорте.

В системе предусмотрено автоматизированное рабочее место оператора системы (диспетчера) и администратора



**Рисунок 3.2 – Примеры рабочего места диспетчера и рабочего места администратора**

Общая сетевая структура системы представлена на рисунке ниже:

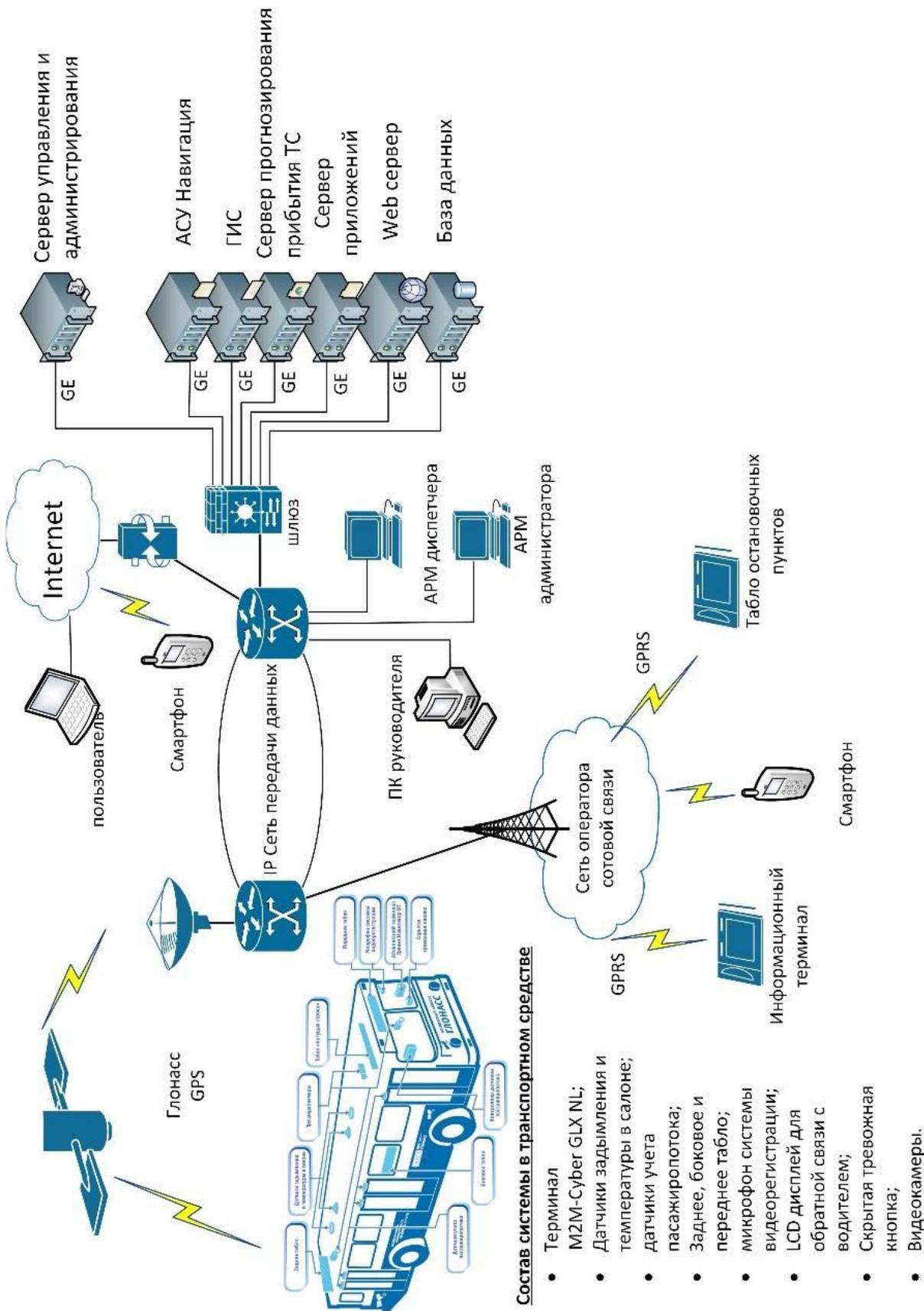


Рисунок 3.3 – Функциональная схема системы на базе существующих сетей связи

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

11070006.11.03.02.115.ПЗВКР

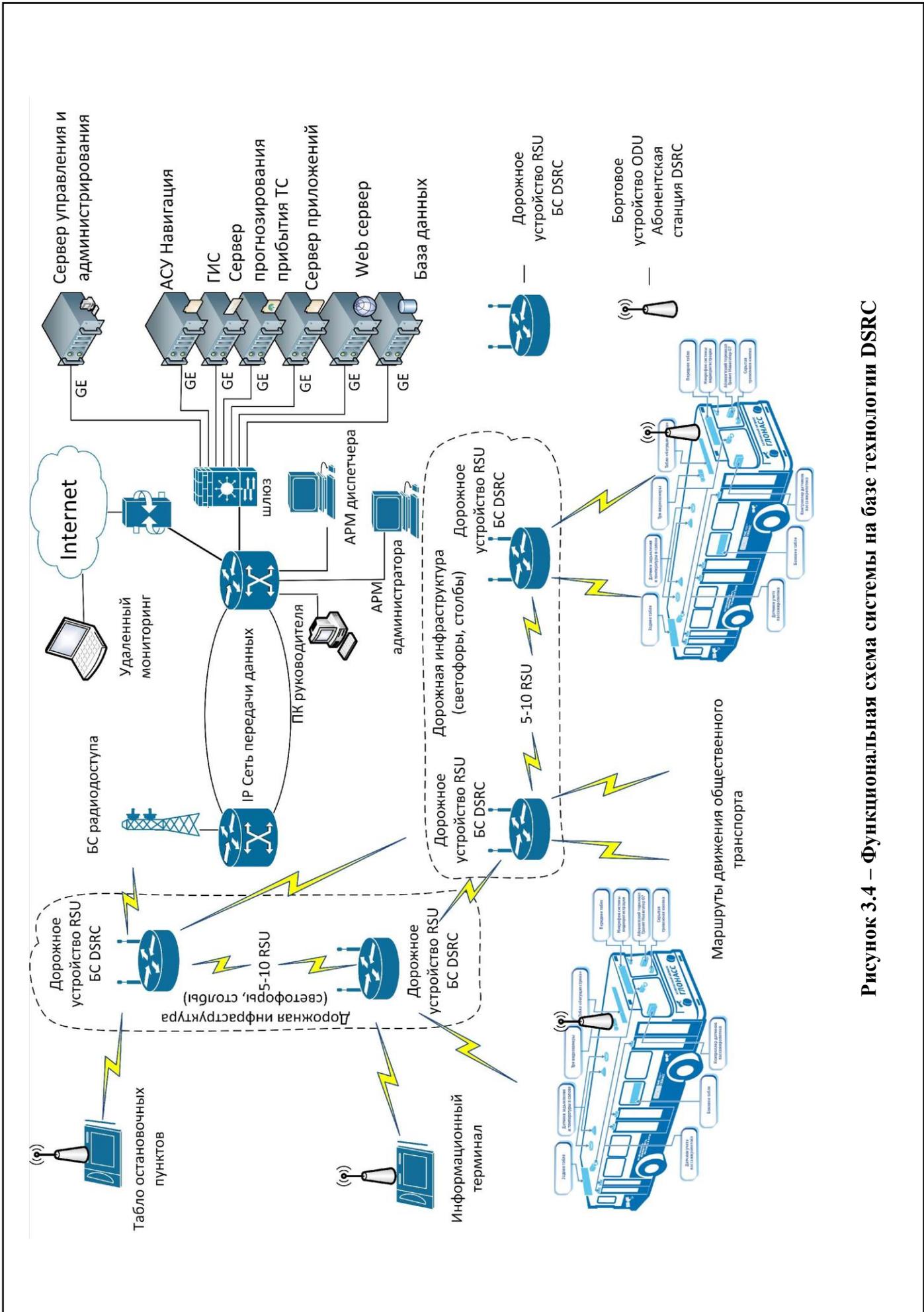


Рисунок 3.4 – Функциональная схема системы на базе технологии DSRC

В случае успешной реализации такой системы доступность транспортных услуг заметно повысится. Кроме того, это положительно скажется на обеспечении безопасности перевозок. Население получит более полную и актуальную информацию о маршрутах. Ну и конечно, увеличится контроль расходов денежных средств из бюджета. Будет выстроена система, состоящая из федерального, регионального и муниципального уровней. В отличие от аналогичных систем, данная разработка будет не только наблюдать, но и непосредственно управлять движением пассажирского городского транспорта.

### 3.2 Приложение пользователя

Второй частью этой системы – является приложение пользователя на смартфоне или другом устройстве. Приложение показывает какой транспорт и где движется и сколько времени осталось до прибытия определенного маршрута на выбранную или заданную остановку. Пользователь сам выбирает на какой остановке он находится и какой маршрут ему нужен. На дисплее будут отображаться данные о том где сейчас данный автобус и примерное время прибытия на остановку.

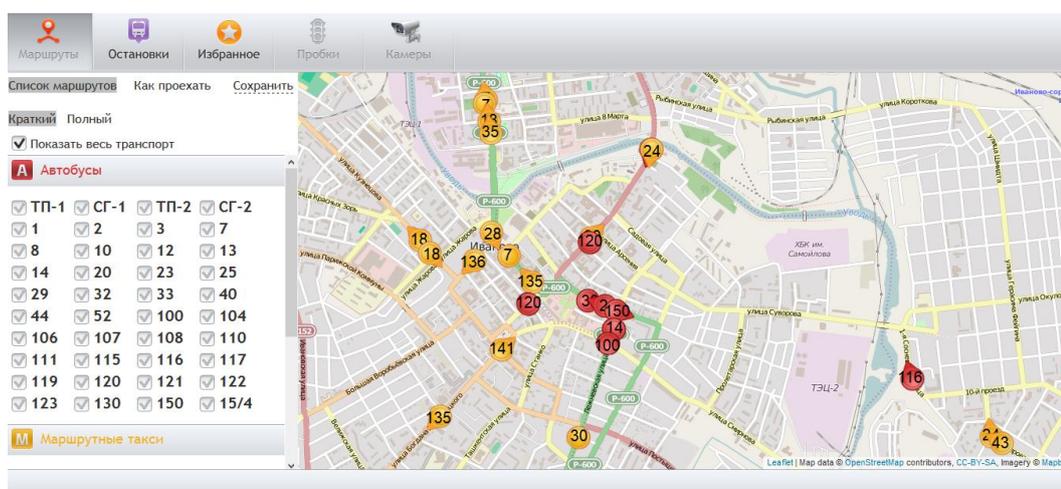


Рисунок 3.4 – Приложение пользователя

В таком случае имеется возможность пассажиру принимать решение ждать ли данный рейс или выбрать альтернативный путь.

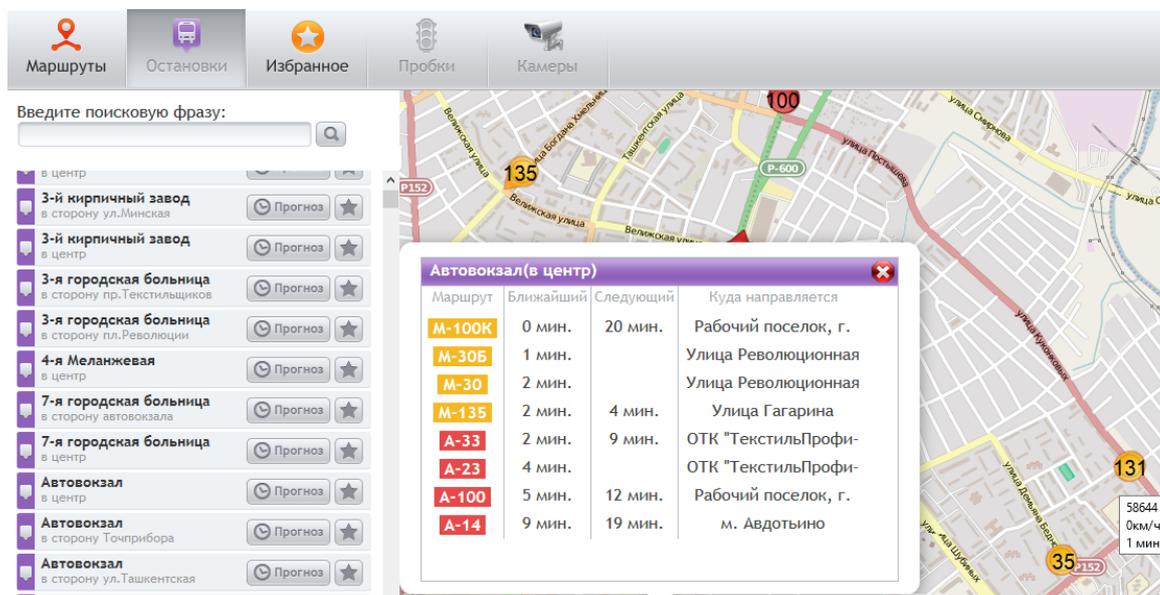


Рисунок 3.5 – Приложение пользователя

С помощью системы ГЛОНАСС можно не только обеспечивать мониторинг пассажирского транспорта, но и влиять на активную безопасность, тем самым снижая количество дорожно-транспортных происшествий и как следствие снижение социально-экономических потерь от ДТП. Предлагается применять технологии для контроля скорости движения транспортного средства, что позволит практически исключить нарушения, связанные с превышением скорости. При превышении допустимой скорости движения не более чем на 10 км/ч — предупреждение водителя в виде раздражающего звукового сигнала; при превышении допустимой скорости движения на более чем 10 км/ч — данные отправляются в государственную инспекцию безопасности дорожного движения, выписывается штраф. При помощи ГЛОНАСС можно вычислить координаты движущихся навстречу друг другу машины и при нахождении машины на полосе встречного движения выводить на экран расстояние до встречного автомобиля. Также возможно выводить на экран расстояние до автомобиля, находящегося

спереди, особенно актуально это будет при междугородних перевозках и при движении в плотном транспортном потоке, где вероятность аварии наиболее велика. Отслеживая количество автомобилей и заторы на участках улично-дорожной сети, возможно направлять транспортные потоки по объездным направлениям, что позволит повысить пропускную способность дороги и как следствие повысить скорость, качество и количество грузовых и пассажирских перевозок.

В перспективе реализация данной системы возможна на собственной сетевой инфраструктуре типа Mesh или сенсорных сетях. Это обусловлено растущим объемом трафика передаваемого по каналам GPRS при увеличении объектов мониторинга что существенно загрузит сети мобильной связи.

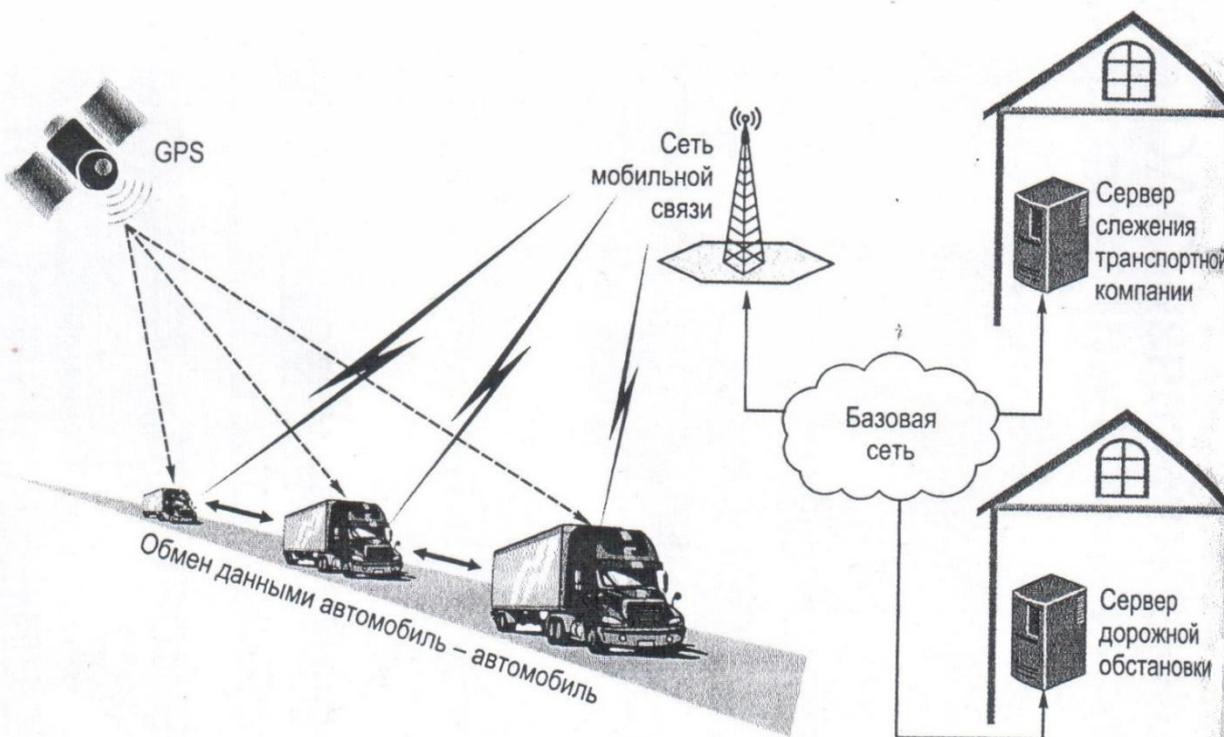
Также возможно использовать передатчики когнитивного радио для передачи данных в ЦОД. При этом не будет требоваться лицензия на использование радиочастотного спектра и обеспечивается высокая скорость для передачи.

Внедрение таких систем позволит контролировать и оптимизировать работу транспорта. Снизит заторы на остановках и более равномерно распределит движение по дорогам города.

### **3.3 Архитектура сети «Автоматизация интеллектуального управления»**

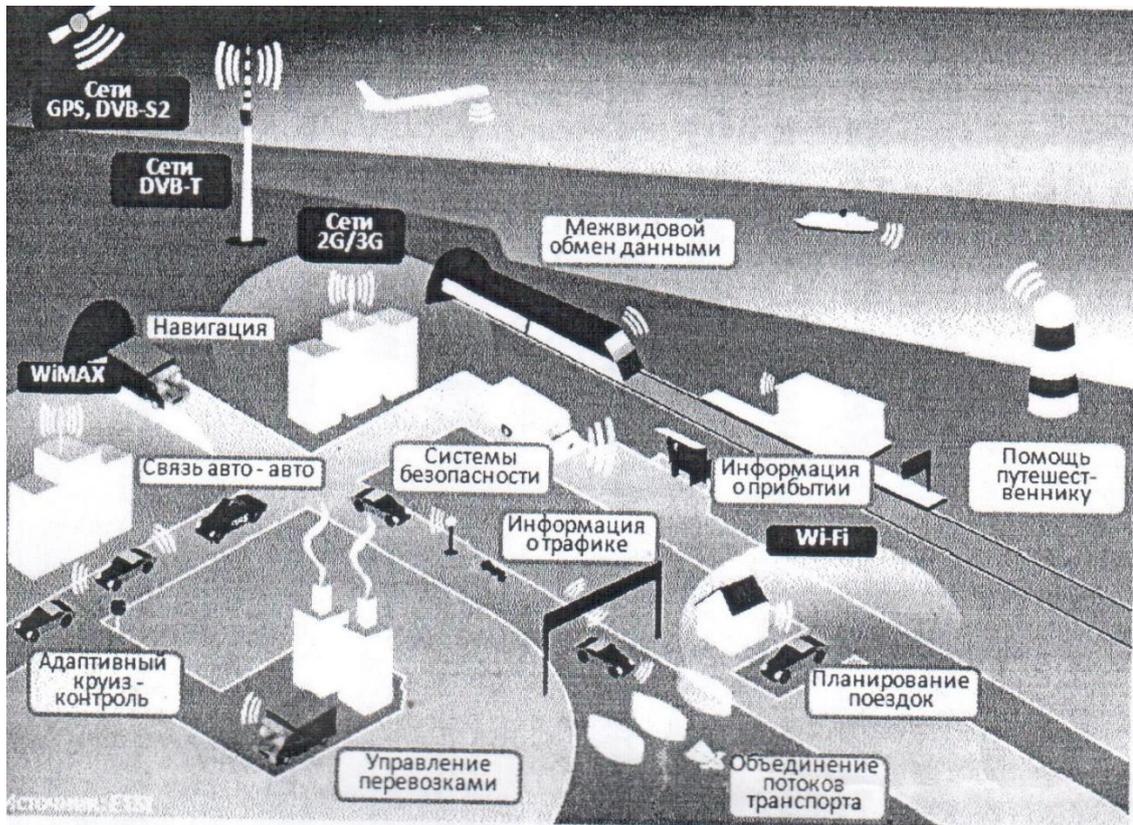
Архитектура сети «Автоматизация интеллектуального управления транспортом» позволяет осуществлять на основе сетей M2M информационный обмен между устройствами контроля движения и устройствами управления транспортным средством в интересах обеспечения безопасности движения, управление группами автомобилей, управление маршрутами движения, предупреждение воровства грузов и транспорта.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38



**Рисунок 3.6 - Автоматизация интеллектуального управления транспортом**

Архитектура сети «Автоматизация управления городским транспортом» нацелена на решение задач, связанных с управлением транспортными потоками, работой светофоров, мониторингом и управлением работой городского общественного транспорта, управлением освещенностью магистралей и улиц города и др. Потенциальный объем рынка определяется количеством городов, нуждающихся в автоматизированной поддержке управления городскими транспортными потоками и общественным транспортом.



**Рисунок 3.7 - Автоматизация управления транспортом**

Потенциальный объем рынка определяется количеством транспортных средств, оснащенных датчиками для информационного обмена в сетях M2M.

## 4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ЕГО ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 4.1 Гранит - Навигатор-2.07

Контроль за использованием транспортных средств в режиме реального времени с возможностью голосовой связи, обмена текстовыми сообщениями и широкими возможностями подключения дополнительных датчиков. Устройство представляет собой высоко-интегрированную навигационно-коммуникационную платформу, предоставляющую возможности определения местоположения посредством встроенного ГЛОНАСС/GPS приёмника, организации голосовой и цифровой связи в сетях GSM. Аналоговые и дискретные входы позволяют подключать датчики (топлива, одометр, концевики и т.п.), а выходы позволяют управлять исполнительными устройствами. Графический дисплей даёт возможность организовать обмен текстовыми сообщениями, а так же отображать картографическую информацию. Для голосовой связи используется внешняя гарнитура. Встроенный интеллектуальный автоинформатор автоматически определяет и объявляет остановки.

Технические характеристики навигатора 2.07:

- Навигационный приёмник: GPS SiRf Star III, 20 каналов, ГЛОНАСС/GPS, 36 каналов (опция);
- Канал передачи данных: GSM/GPRS;
- Антенны: Встроенные;
- Голосовая связь : Есть;
- Передача текстовых сообщений: Есть;
- Вид дисплея: Графический, 5 дюймов;
- Интерфейсы: CAN 2.0B, microLAN (1wire), 1 x RS232 + 1 x RS485 или 2 x RS232 + 3 x RS485, Bluetooth (опция);

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

- Входы: 2 аналоговых входа от 0 до 5 В, 2 аналоговых входа от 0 до 30В, 4 дискретных входа, с функцией подсчета импульсов;
- Выходы: 2 выхода типа "открытый, коллектор", 60 В, 0,5 А;
- Автоинформатор: Встроенный, усилитель мощности 30 Вт;
- Напряжение питания: 10-30 Вольт;
- Автономное питание: есть;
- Габариты: 165x104x20 мм.

Основные функции «Гранит-навигатор-2.07»:

- Определение текущего местоположения ТС и опрос всех подключенных датчиков;
- Передача навигационных данных (географические координаты, пройденный путь, количество спутников, скорость, а так же состояние подключенных датчиков и дополнительного оборудования (датчик пассажиропотока IRMA, ультразвуковой бесконтактный датчик топлива УЗИ-М и т.п.) на сервер по GPRS каналу и сохранение информации в энергонезависимую память (возможно сохранение до 16544 отметок);
- Возможность настройки параметров, определяющих передачу данных на сервер по GPRS каналу. Передача данных на сервер может осуществляться по:
  - времени – передача навигационных данных на сервер с заданной периодичностью;
  - пройденному расстоянию – на сервер передается навигационная отметка после прохождения транспортным средством указанного расстояния в метрах (с интервалом не менее 1 с);
  - углу поворота – навигационная отметка передается на сервер при отклонении транспортного средства от прямолинейного движения на угол более указанного в настройках (значения угла отклонения указывается в градусах) (с интервалом не менее 1 с);
  - по заданным зонам – навигационная отметка передается на сервер автоматизированной системы мониторинга, при въезде и\или выезде (в

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

соответствии с настройками) из заданной географической зоны. Описание географических зон содержится в файле описания зон, который создается при помощи программы «ZoneMaker» (производства ООО «Глобал ориент») и размещается на внешней карте памяти MicroSD.

- В изделии используется расширенная структура передачи навигационной отметки – на сервер передается информация от всего подключенного оборудования;

- Поддержка карт памяти MicroSD объемом до 16 Гб. На внешней MicroSD - карте могут храниться протоколы работы изделия (лог-файлы), файлы «сценариев» работы навигатора и «автоинформатора», изображений получаемых с подключенной фотокамеры, формализованные звуковые сообщения, файлы с описанием географических зон.

- Поддержка двух аналоговых входов с допустимым входным напряжением от 0 В до 5 В, двух аналоговых входов с допустимым входным напряжением от 0 В до 30 В;

- Поддержка четырех дискретных входов с возможностью подключения до четырех цифровых датчиков, которые можно настроить как счетные или дискретные.

- Поддержка двух дискретных выходов (опционально) с возможностью подключения внешних исполнительных устройств напряжением питания 10 – 30 В и током потребления 1 А.

- Поддержка коммуникационных интерфейсов RS-232, RS-485, в двух модификациях (в основной модификации 1xRS-232, 1xRS-485; в расширенной модификации дополнительно 1x RS-232, 1x RS-485).

- Возможность работы изделия в глобальных навигационных спутниковых системах: GPS, GPS/ГЛОНАСС, ГЛОНАСС.

- Объем внутренней энергонезависимой памяти 4МБ с возможностью сохранения до 16544 навигационной отметки.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

- Обмен сообщениями между водителем транспортного средства и диспетчером автоматизированной системы:

- Отправка с навигатора формализованных текстовых сообщений, с возможностью задания пользовательских формализованных сообщений.

При использовании пользовательских формализованных сообщений на карте памяти MicroSD размещается файл в формате \*.xml содержащий набор текстовых сообщений составленных пользователем.

- Получение текстовых сообщений из APМа. На изделие могут быть присланы текстовые сообщения, требующие ответа водителя – необходимо нажатие кнопки на корпусе изделия соответствующей предлагаемому варианту ответа, а так же фоновые сообщения – сообщения информационного характера не требующие от водителя ни каких действий.

- Отправка водителем транспортного средства диспетчеру автоматизированной системы сигнала тревоги «SOS» - после получения сообщения диспетчер связывается с водителем по GSM каналу связи;

- Отправка водителем транспортного средства диспетчеру автоматизированной системы запроса на «голосовую связь» – после получения сообщения, диспетчер автоматизированной системы связывается с водителем по GSM каналу связи.

- Голосовая связь осуществляются в сетях сотовой связи стандарта GSM 900/1800. Для организации голосовой связи между диспетчером автоматизированной системы и водителем транспортного средства необходимо использование микрофонной гарнитуры подключенной к изделию. Для ответа на входящий звонок требуется нажатие кнопки приема входящего вызова на корпусе изделия или включить функцию «автоподнятия трубки» - при входящем вызове изделие автоматически переходит в режим «приема» не требуя от водителя, ни каких действий. Голосовая связь так же может осуществляться в полудуплексном режиме, для этого необходимо включить функцию поддержки работы изделия с тангентой в меню изделия.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

- Подключение штатных громкоговорителей транспортного средства к выходам низкой частоты позволяет водителю с помощью микрофонной гарнитуры, информировать пассажиров об изменении маршрута и чрезвычайных происшествиях. Включение функции изделия «Громкая связь» происходит после нажатия на корпусе изделия кнопки «Связь». Для информирования пассажиров требуется воспользоваться подключенной гарнитурой в качестве микрофона. При информировании пассажиров требуется нажимать кнопку гарнитуры.

- Использование изделия в режиме «Черного ящика» - из пункта встроенного меню изделия, навигатор переводится в режим «черного ящика». В режиме «черный ящик» выполняется определение навигационных параметров и их запись во внутреннюю энергонезависимую память изделия, без передачи информации на сервер автоматизированной системы мониторинга. Для передачи накопленных данных на сервер автоматизированной системы мониторинга, изделие следует перевести в «активный» режим работы, выбрав соответствующий пункт в настройках изделия.

Основные особенности:

- Встроенная функция автоматического объявления названий остановок по координатам спутниковой навигационной системы;
- Встроенная функция автоматического управления отображением информации на бортовых электронных табло и на внутрисалонной "бегущей строке";
- Возможность автоматического управления приемом, накоплением и передачей видеоизображений с внутрисалонных камер наблюдения;
- Сбор, накопление и передача данных от бортовой системы подсчета пассажиров;
- Возможность передачи информации на основе навигационных данных в бортовые вариаторы системы автоматического контроля оплаты проезда (номера зон оплаты поездок, фактическое расстояние поездки и т.п.);

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

- Прием, накопление и передача данных от бортовых датчиков состояния узлов и агрегатов транспортного средства.

На рисунке 4.1 представлена схема подключения Навигатора 2.07 к оборудованию автомобиля.



**Рисунок 4.1 – схема подключения Навигатора 2.07 к оборудованию транспортного средства**

Основные отличия:

- Антенны ГЛОНАСС/GPS и GSM встроены внутри корпуса;
- Интеграция с основными востребованными на пассажирском транспорте дополнительными системами - видеонаблюдение, контроль пассажиропотоков, электронные табло и т.д.;
- Наличие Сценариев (заданная последовательность действий, производимых по событию изменения состояния прибора и/или внешних

датчиков) позволяет гибко настроить работу прибора так, как требует конкретная ситуация.

- Простой монтаж-демонтаж. Удобная процедура настройки параметров (технология репликации позволяет копировать настройки с одного прибора на другой);
- Навигатор.07 не имеет аналогов по набору реализуемых функций и соотношению цена/функциональность.

## 4.2 Оборудование FlexRoad

FlexRoad – устройства передачи данных «машина-машина» и «машина-инфраструктура».

Современные системы высокоскоростной передачи данных из движущегося транспортного средства в пределах прямой радиовидимости по технологии DSRC 802.11p.

Устройства имеют открытую архитектуру, позволяющую исполнять сторонние приложения, базируются на операционной системе Linux и подходят для широкого класса прикладных задач, включая предотвращение столкновений, езда в караване, автоматизация управления дорожным движением и других.

Готовые интерфейсы для интеграции с видеосистемами, светофорными контроллерами, коммуникационными и управляющими модулями. Адаптировано для использования на автотранспорте. Свободно программируемая платформа, конфигурируемая под требования проекта.

Преимущества оборудования FlexRoad:

- Стоимость современного оборудования сравнима со стоимостью WiFi;
- В наличии есть решения, как для бортовых систем (OBU), так и для наземной инфраструктуры (RSU);

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

- Мощные процессорные платформы;
- Экономия на инфраструктуре, серверах и строительстве сетей.

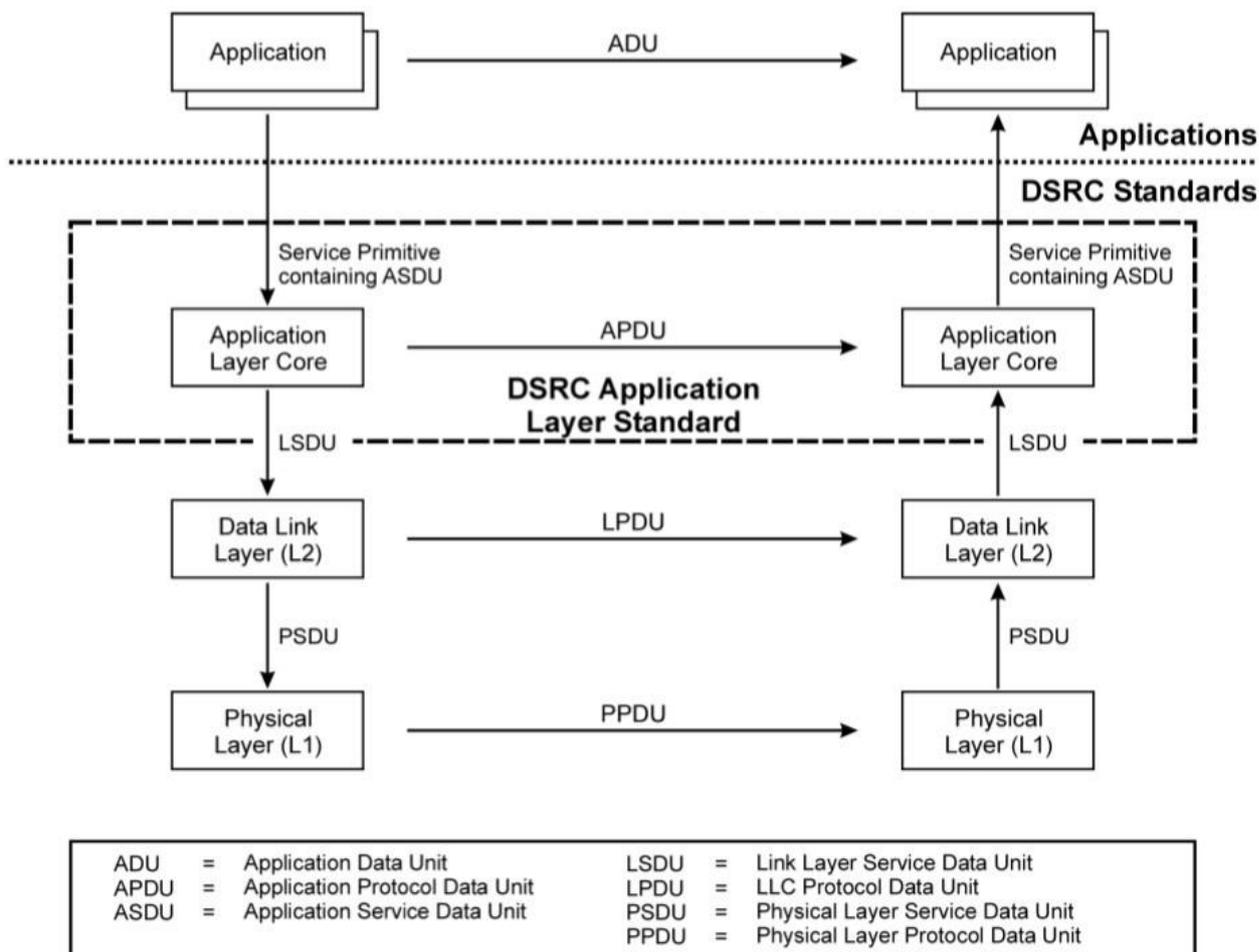
По желанию заказчика, устройства FlexRoad могут оснащаться дополнительными коммуникационными возможностями: модемами 3G или 4G, GPS или GPS/ГЛОНАСС приемниками, WiFi.

### 4.3 Стек DSRC

Транспондер и антенна реализуют стек протоколов из 1-ого, 2-ого и 7-ого уровней модели OSI, как показано на рисунке 4.2.

Основное отличие DSRC от ближайшего своего родственника Wi-Fi заключается в том, что DSRC «заточен» под связь с быстро движущимся объектом. То есть, пока машина проезжает в зоне действия антенны, транспондер должен проснуться, установить соединение и произвести обмен информацией. По опыту, на скорости 90 км/ч можно вполне надежно передать 1 МБ информации. Получалось передавать и до 4 МБ, но уже появлялись риски дисконнекта. Японцы активно тестируют DSRC нового стандарта, когда можно надежно обмениваться 10-20 МБ информации за сеанс, но промышленного производства пока нет.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



**Рисунок 4.2 - Архитектура стека DSRC (ISO 12834-2003)**

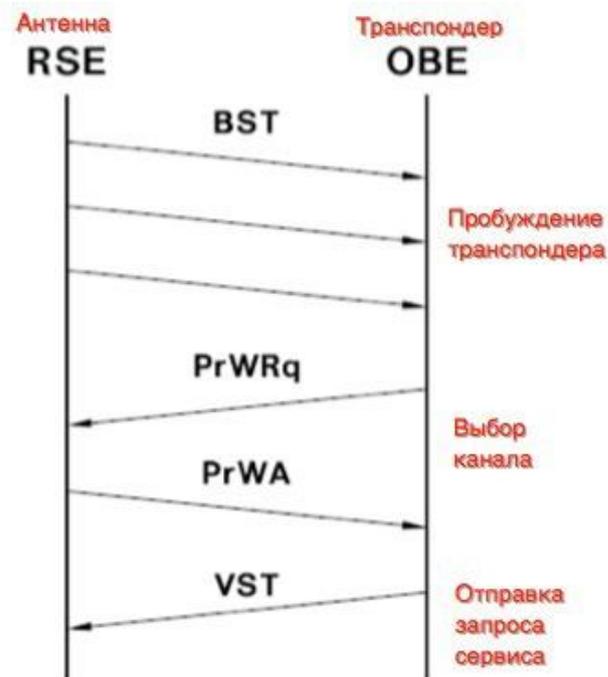
Во время проезда автомобиля под антенной происходит примерно следующее:

1. Транспондер получает сигнал маяка и «просыпается». Сигнал маяка содержит структуру данных BST с перечнем предоставляемых сервисов (приложений), которые поддерживаются на данной точке. Время между получением первого сигнала антенны (любого, не обязательно содержащего BST) и готовностью транспондера к работе составляет 5 мс.

2. Антенна и транспондер определяют канал, по которому будет осуществляться обмен. По дороге едет множество автомобилей, и разделение канала необходимо.

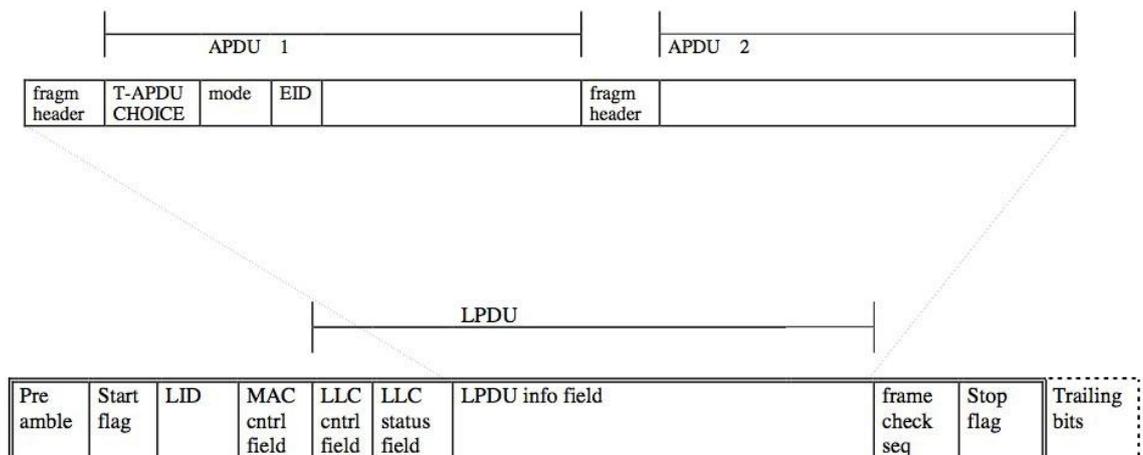
3. Транспондер при помощи структуры данных VST сообщает о приложении (или приложениях), которое ему необходимо. Например, EFC — электронная оплата проезда.

4. Антенна и транспондер устанавливают защищенное соединение и обмениваются данными в рамках выбранного приложения.



**Рисунок 4.3- Установление соединения антенны DSRC и транспондера**

На следующей картинке представлена инкапсуляция фреймов данных разных уровней.



**Рисунок 4.4 - Формат фрейма DSRC**

Преамбула (preamble) нужна для синхронизации транспондера и антенны. Start flag — 0111 1110. LID — идентификатор линка для бродкаста 11111111, для остальных случаев — четыре октета случайно выбранных во время установления соединения чисел для идентификации канала обмена с конкретным транспондером.

MAC control field содержит информацию о содержимом пакета — uplink или downlink, команда или ответ на команду и т.п. LLC control содержит тип команды или ответа на команду, LLC status, соответственно, содержит результат выполнения команды. LPDU — собственно, информация прикладного уровня (рассмотрим ее отдельно). Прикладной блок может передаваться по частям, если не умещается в один физический пакет. В общем, для знающих стек TCP/IP ничего принципиально нового тут нет.

Завершается фрейм CRC контрольной суммой и стоп-битами аналогичными стартовому флагу.

На прикладном уровне происходит обмен информацией в рамках соответствующих приложений. На текущий момент наиболее распространены следующие приложения:

- Собственно, EFC — электронное взимание платы, AID=1 (идентификатор приложения в таблице VST). Прикладной уровень подробно рассмотрен в стандарте ISO 14906-2011
- Localisation augmentation communication (LAC) — протокол записи в память БУ данных о местоположении антенны, AID=21, стандарт ISO 13141-2010
- Compliance Checking Communication (CCC) — обмен контрольной информацией о ТС с целью проверки соблюдения правил взимания платы, ISO 12813-2009

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

#### 4.4 Расчет диапазона помех

Измерение уровня принятого сигнала является одним из методов оценки расстояния между передатчиком и приемником. По сравнению с другими методами, этот метод относительно легок и прост в реализации, так как нет никакой специальной электронной или алгоритмической сложности. Принимаемая мощность зависит от модели потерь на трассе, и эта модель используется для дистанционной оценки. Модель потерь в передающем тракте канала. Модель свободного распространения сигнала в пространстве или эквивалентная ей модель потерь на трассе может быть представлена в виде:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d}\right)^2, d \geq d_0 \geq d_f \quad (4.1)$$

$$P_r(d) = 10 \log \left( \frac{P_r(d_0)}{0.001W} \right) + 20 \cdot \log \left( \frac{d_0}{d} \right) \quad (4.2)$$

где  $d$  - это дистанция между приемником и передатчиком, м;

$d_0$  – рекомендуемое расстояние на котором измеряется полученная мощность  $P_r(d_0)$ , м;

$d_f$  – дальняя зона (область в которой плотность потока энергии излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния от антенны).

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}, d_f \gg D, d_f \gg \lambda \quad (4.3)$$

где  $D$  – наибольший физический размер антенны передатчика, м;

$\lambda$  – длина волны сигнала.

Зная значения  $d_0$  и  $P_r(d_0)$ , выражение (3.1) может быть преобразовано:

$$P_r(R) = K - 20 \log(R) \quad (4.4)$$

где  $R$  – это расстояние между приемником и передатчиком, м;  $K$  – константа.

$$K = 10 \log \left( \frac{P_r(d_0)}{0.001W} \right) + 20 \log(d_0) \quad (4.5)$$

Если входную мощность можно измерить, то с помощью выражения (4.4) можно вычислить расстояние  $R$  между приемником и передатчиком. Выражение (4.4) используется при расчете диапазона помех в свободном пространстве. В реальных

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

условиях в городских или пригородных районах окружающая среда создает много помех. Модель, учитывающая помехи дана в (3.6):

$$P_r(R) = K - \log \epsilon \log(R) \quad (4.6)$$

Для реального пространства  $\epsilon$  – коэффициент потерь является изменяющимся параметром (как правило, от  $\epsilon = 2$  на придорожных участках или негусто заселенных районах и  $\epsilon = 4$  в густо застроенных районах города). В зависимости от когерентности полосы пропускания, потери на трассе могут отличаться при использовании разных рабочих частот сигнала. Рассмотрим автомобильную сеть с использованием DSRC связи. Размер антенны передатчика  $D=10$  см ( $d_f \approx 40$  см), расстояние  $d_0 = 1$  м и входная мощность ( $P_r(d_0)$ ) = 2W. Используя выражение (3.5) вычислим коэффициент K:

$$K = 10 \log\left(\frac{2}{0.001 \cdot 1}\right) + 20 \log(1) = 33,01$$

Далее рассчитаем входную мощность для разных значений  $\epsilon$  и R. Результаты расчетов приведены в таблице 4.1.

$$P_r(10) = 33,01 - 10 \cdot 2 \cdot \log(10) = 13,01 \text{ dBm},$$

$$P_r(100) = 33,01 - 10 \cdot 2,5 \cdot \log(10) = 8,01 \text{ dBm},$$

$$P_r(10) = 33,01 - 10 \cdot 3 \cdot \log(10) = 3,01 \text{ dBm},$$

$$P_r(10) = 33,01 - 10 \cdot 3,5 \cdot \log(10) = -1,99 \text{ dBm},$$

$$P_r(10) = 33,01 - 10 \cdot 4 \cdot \log(10) = -6,99 \text{ dBm}.$$

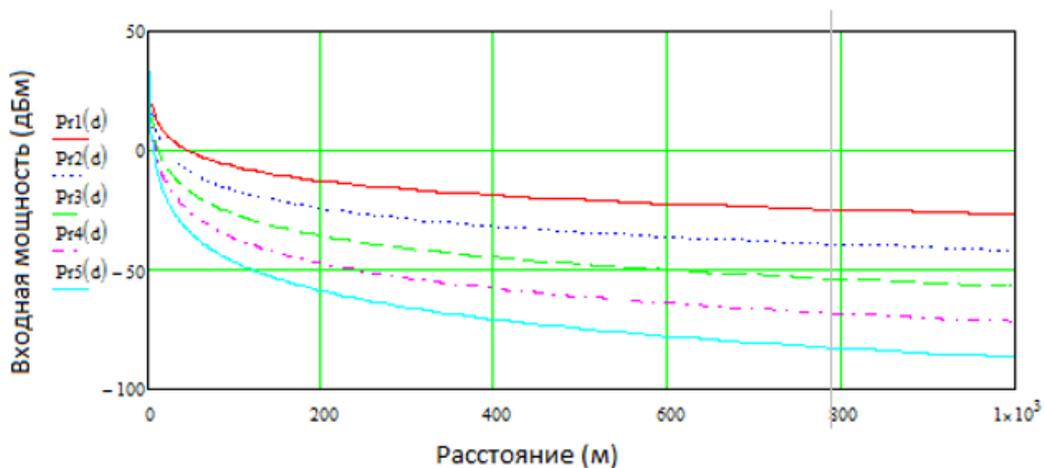
**Таблица 4.1 – Результаты расчетов входной мощности в зависимости от расстояния и коэффициента**

R, м \ $\epsilon$	$\epsilon=2$	$\epsilon=2,5$	$\epsilon=3$	$\epsilon=3,5$	$\epsilon=4$
10	13,01	8.01	3.01	-1.99	-6.99
100	-6.99	-16.99	-26.99	-36.99	-46.99
200	-13.01	-24.515	-36.021	-47.562	-59.031

*Продолжение таблицы 3.1*

R, м \ $\epsilon$	$\epsilon=2$	$\epsilon=2,5$	$\epsilon=3$	$\epsilon=3,5$	$\epsilon=4$
300	-16.532	-28.913	-41.303	-53.689	-66.075
400	-19.031	-32.041	-45.051	-58.062	-71.072
500	-20.969	-34.464	-47.959	-61.454	-74.949
600	-21.553	-36.443	-50.334	-64.225	-78.116
700	-23.892	-38.117	-52.343	-66.568	-80.794
800	-25.051	-39.567	-54.082	-68.598	-83.113
900	-26.075	-40.846	-55.617	-70.388	-85.159
1000	-29.99	-41.99	-56.99	-71.99	-86.99

На рисунке 4.5 приведены результаты расчетов входной мощности в зависимости от расстояния и коэффициента входной мощности.



**Рисунок 4.5 - Результаты расчетов входной мощности в зависимости от расстояния и коэффициента входной мощности**

Зависимость расстояния и коэффициента входной мощности обратно-пропорциональная.

#### 4.5 Оценка чувствительность в зависимости от коэффициента потерь на трассе

Для лучшего понимания как коэффициент влияет на точность оценки расстояния рассмотрим выражение

$$S_{\varepsilon}^R = \frac{\delta_{R/R}}{\delta_{\varepsilon/\varepsilon}} \quad (4.7)$$

Далее получим:

$$S_{\varepsilon}^R = \frac{(P-K) \ln(10)}{10\varepsilon} \quad (4.8)$$

где  $P$  – измеренная входная мощность, дБм. На рисунке 3.2 представлено абсолютное значение чувствительности в зависимости от коэффициента потерь.

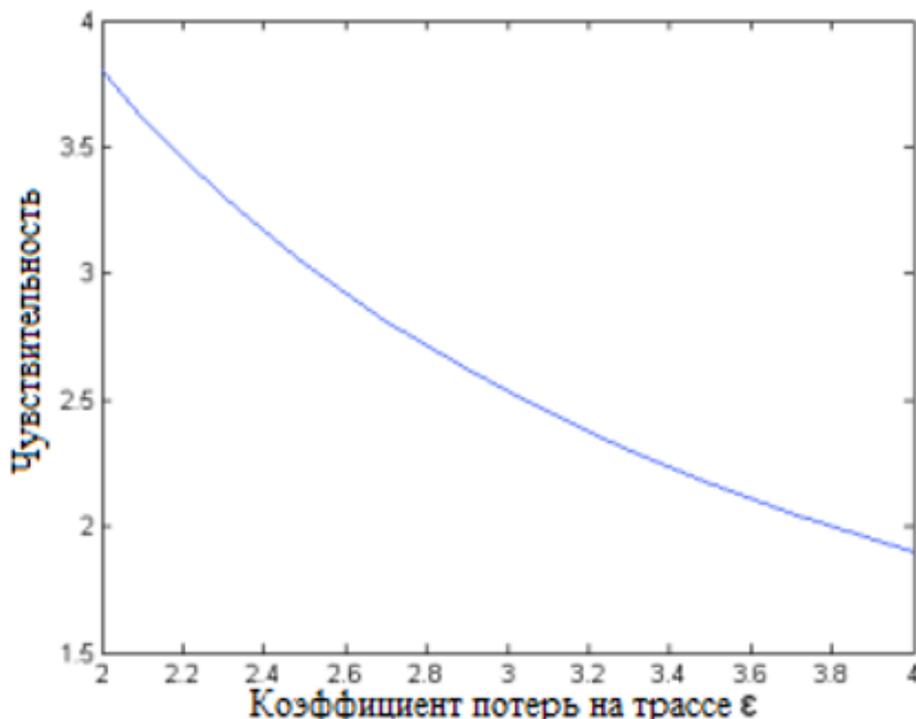


Рисунок 4.6 - Абсолютное значение чувствительности в зависимости от коэффициента потерь

Из уравнения (4.8) и рисунка можно сделать вывод, что предварительный расчет расстояния на основе принимаемой мощности очень чувствителен к диапазону помех. Например, при ошибке в 10% определения коэффициента ,

приводит к 25% погрешности в оценки расстояния. Так же чувствительность уменьшается в густо застроенных городских районах, где имеет большое значение.

#### **4.6 Анализ пропускной способности сети радиосвязи стандарта IEEE 802.11p**

Для обеспечения связи городского транспорта чаще всего применяются сети подвижной радио- и радиотелефонной связи. Они позволяют организовывать передачу голосовой информации на большие расстояния (до десятков километров) с использованием незначительного частотного ресурса. В современном мегаполисе требования к организации перевозок, работе городских и экстренных служб постоянно возрастают. Основными направлениями улучшения их деятельности являются повышение безопасности и оперативности доставки грузов и реагирования в экстренных случаях, снижения пробок, контроль за работой дорожных служб. Одной из базовых технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС) является технология высокоскоростной связи с подвижными объектами (Dedicated Short Range Communication, DSRC). Суть DSRC – в постоянном обмене информацией, такой как местоположение, скорость, ускорение и пр., между ТС (Vehicle-to-Vehicle, V2V), а также между ТС и объектами транспортной инфраструктуры (Vehicle-to-Infrastructure, V2I).

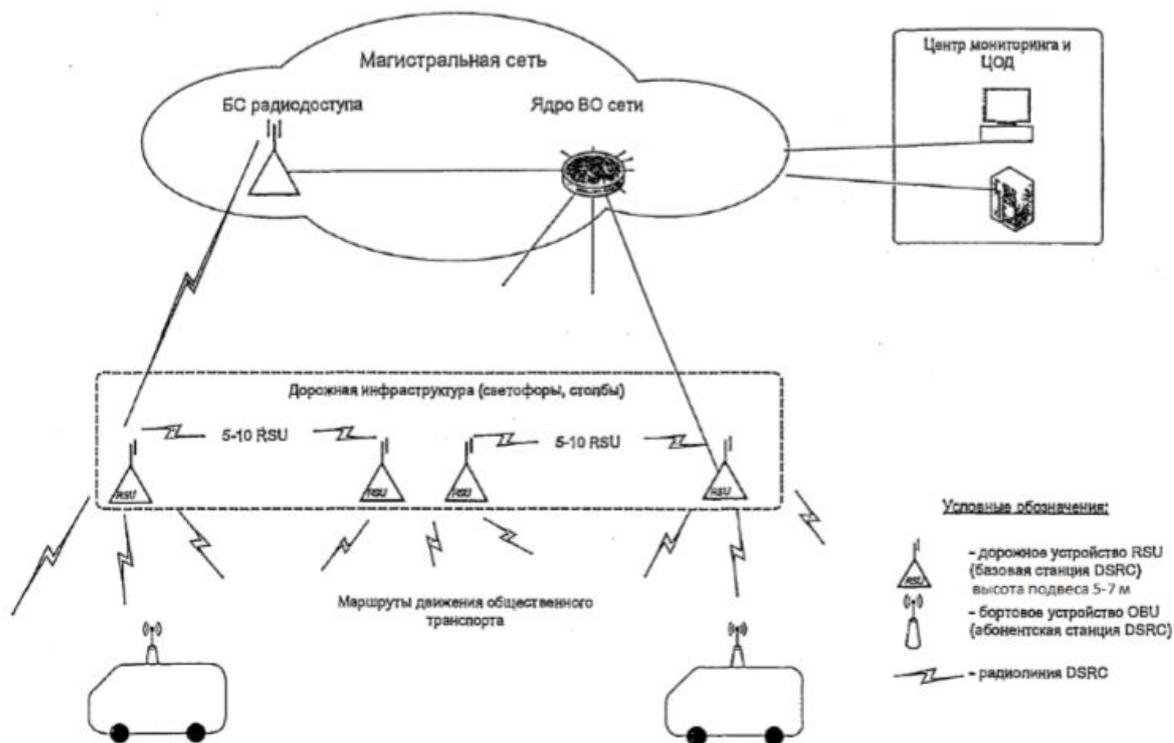
					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

**Таблица 4.2 – Сравнительные характеристики технологий для организации связи с подвижными объектами**

Характеристики	Подвижная радиотелефонная связь	Семейство Wi-Fi	DSRC
Стандарт	DPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE	IEEE 802.11a/b/g/n/ac	IEEE 802.11p IEEE 1609
Рабочие частоты	900/1800 МГц	2,4 ГГц (IEEE 802.11b/g/n) 5 ГГц (IEEE 802.11a/n/ac)	5,9 ГГц
Скорость передачи данных	20 кбит/с (GPRS) 59,2 кбит/с (EDGE) 42 Мбит/с (HSPA) 150 Мбит/с (LTE)	54 Мбит/с (IEEE 802.11a) 11 Мбит/с (IEEE 802.11b) 54 Мбит/с (IEEE 802.11g) 600 Мбит/с (IEEE 802.11n) 1300 Мбит/с (IEEE 802.11ac)	27 Мбит/с
Время установления соединения	Несколько секунд	Несколько секунд	250 мс
Задержка	От 500 мс до нескольких секунд	Нет данных	До 50 мс
Ширина канала	От 200 кГц до 100 МГц	От 20 до 160 МГц	10 МГц
Максимальная скорость движения устройства	120 км/ч (для LTE)	8 км/ч	500 км/ч
Дальность связи	35 км (для 900 МГц)	300 м (на открытом пространстве) порядка 70 м (дальность уверенного приема)	1 км

Уступая в скорости наиболее передовым релизам LTE и Wi-Fi, технология DSRC имеет лучшие параметры времени установления соединения и задержки передачи пакетов, что стало возможно благодаря упрощению некоторых процедур идентификации и безопасности в системе. Битовая скорость в канале DSRC – 27 Мбит/с. Для большинства приложений ИТС это значение вполне приемлемо, тем более что 27 Мбит/с обеспечивается в полосе 10 МГц. Общий частотный ресурс, выделенный для оборудования DSRC, составляет семь несущих по 10 МГц в диапазоне 58555925 МГц. Таким образом, пропускная способность одной базовой станции придорожного устройства (roadside unit, RSU) может достигать 189 Мбит/с. На транспортные средства устанавливаются бортовые устройства (On

Board Unit, OBU), а вдоль дорог, на перекрестках и объектах транспортной инфраструктуры – придорожные устройства. Устройства, поддерживающие стандарт DSRC, работают в особом режиме (Outside the Context to fBSS, OCB), что позволяет им обмениваться сообщениями мгновенно, без предварительной организации сети.



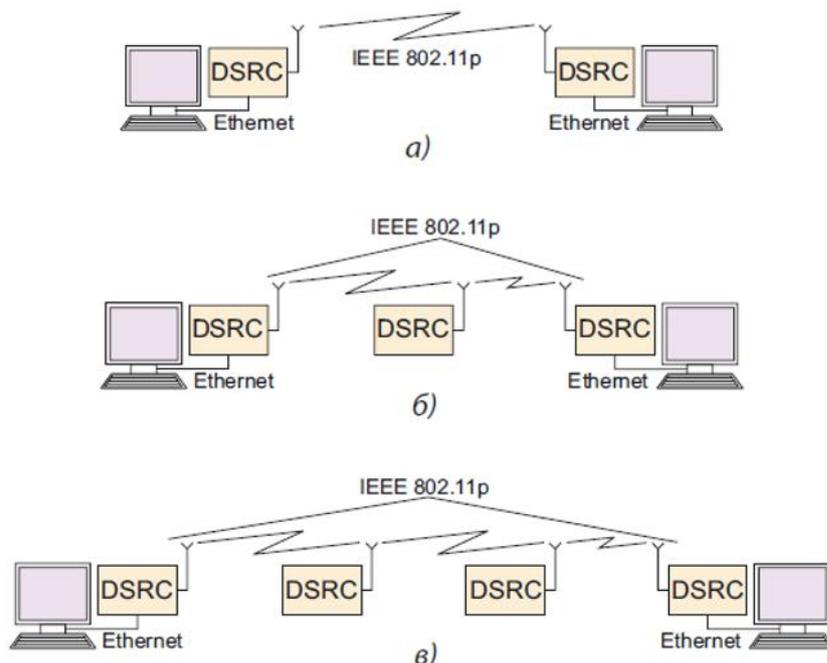
**Рисунок 4.7 – Схема организации связи городской сети DSRC**

Высота установки базовых станций должна быть не ниже 5 м, поскольку антенны абонентских станций бортовых устройств OBU, размещенные на общественном транспорте, расположены на высоте 2-3 м от уровня земли. Чрезмерное возвышение RSU над уровнем земли (например, на крышах высотных зданий) не дает должного эффекта, так как с увеличением зоны охвата в городской среде возникает затенение участков. Следовательно, наиболее удобным местом установки RSU являются объекты дорожной инфраструктуры: светофоры, столбы освещения, опоры контактной сети, рекламные щиты. Для города, расположенного в предгорной местности, радиус охвата базовой станции,

установленной на высоте 7 м, составляет 500-700 м (усреднённая оценка). Зона охвата во многом зависит от высоты подъема антенны, кривизны улиц, наличия растительности, отражающих свойств домов и дорожных покрытий. Например, эффект многолучевого распространения и отражения волн между домами длинных улиц с плотной застройкой может обеспечить уверенный прием сигнала на удалении нескольких километров от RSU. Размер зоны обслуживания базовых станций до 1,0-1,4 км в диаметре гарантирует удовлетворительную пропускную способность. Для проведения измерений использовались бортовые устройства DSRC на доработанном чипсете Wi-Fi. Модуль VTM721 производства Norbit (Норвегия) мультипротокольный транспондер, разработанный для использования в сетях DSRC в соответствии со стандартом CEN/TC278 и ETSI стандартами. Модуль VTM721 интегрирован в автомобильный ГЛОНАСС/GPS блок для реализации функции электронной оплаты за проезд по платным дорогам или функции предупреждения об аварийной ситуации на дороге. Устройства с всенаправленными антеннами по 3 дБ, установленные на автомобилях на высоте 1.5 м, были разнесены на расстояние примерно 100 м и находились в прямой видимости. К каждому из устройств по интерфейсу Ethernet подключались два персональных компьютера, один из которых служил источником данных, а второй — приемником данных и средством определения параметров передачи (на базе утилиты iperf). Использовался 178-й канал DSRC с несущей 5,890 ГГц, мощностью передатчиков 27 дБм и чувствительностью приемников -87 дБм. Эксперимент проводился в две стадии. На первой стадии измерялась пропускная способность с учетом числа ретрансляторов, а на второй — коэффициент потерь пакетов в зависимости от скорости передачи. Первая часть эксперимента заключалась в проведении измерений зависимости скорости и стабильности передачи данных при изменении маршрута передачи данных. В первоначальной конфигурации (рисунок 4.8, а) тестовая сеть состоит из двух бортовых устройств (БУ) DSRC, в дальнейшем конфигурация сети меняется путем добавления сначала одного (рисунок 4.8, б), а затем второго (рисунок 4.8, в) дополнительного

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

бортового устройства DSRC, работающих в режиме ретрансляции сигнала. Устройства размещаются таким образом, что каждое из них взаимодействует в условиях прямой видимости только с двумя соседними. Сеть на базе технологии DSRC обладает высокой живучестью, и в случае нарушения связи узел может восстановить связь по радиоканалу через другие устройства в радиусе действия. Транспортные средства двигались со средней скоростью 40 км/ч в городской местности с одно- и двухэтажными постройками вблизи от основных трасс.



**Рисунок 4.8 – Конфигурация тестовой сети: а) первоначальная, б) с добавлением одного БУ, в) с добавлением двух БУ**

В таблице 4.3 приведены результаты полученных скоростей передачи данных и их изменение во времени в зависимости от количества ретрансляций.

**Таблица 4.3 – Результаты измерения скорости передачи данных**

Время, мин	Скорость передачи данных, Мбит/с		
	Два устройства, нет ретрансляций	Три устройства, одна ретрансляция	Четыре устройства, две ретрансляции
1	11,0	4,19	2,62
2	9,44	3,67	2,1
3	10,5	4,19	2,1
4	9,96	4,19	2,1
5	9,96	3,67	2,1
6	9,44	4,19	2,1
7	9,91	3,67	2,1
8	9,44	4,19	2,1
9	9,44	3,65	2,1
10	9,78	3,95	2,19

Из таблицы 4.3 видно, что с течением времени скорость передачи данных остается относительно стабильной для всех трех конфигураций. Незначительные изменения в скорости передачи данных в отдельно взятой тестовой сети указывают на наличие помех или других внешних факторов. На основе полученных результатов можно утверждать, что добавление дополнительных бортовых устройств влияет на скорость передачи данных, которая значительно падает при добавлении дополнительного бортового устройства, но остается приемлемой для тестовой сети. Вторая стадия эксперимента проходила в пять этапов, каждый из которых представлял собой передачу данных в течение 300 с на скоростях 1, 2, 3, 4 и 5 Мбит/с (соответственно номеру этапа). Рассмотрим отношение сигнал-шум  $E_b / N_0$  для нашего случая, где это отношение энергии сигнала на 1 бит к плотности мощности шумов на 1 Гц можно выразить с учетом скорости передачи данных  $R$  (бит/с). При условии, что  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$ , удельная энергия одного бита  $E_b$  равна  $ST_b$ , где  $S$  — мощность сигнала;  $T_b$  — время передачи одного бита. Скорость передачи данных  $R=1 / T_b$ , и, следовательно,

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{RN_0} \quad (4.9)$$

Для технологии DSRC довольно часто уровень мощности шума достаточен для изменения значения одного из битов данных. Если же увеличить скорость передачи данных вдвое, биты будут «упакованы» в два раза плотнее и тот же посторонний сигнал приведет к потере уже двух бит информации. Согласно стандарту IEEE 802.11, требуемое отношение сигнал/шум для скорости 1 Мбит/с равно 4 дБ, а для 6 Мбит/с — 5 дБ. Следовательно, при фиксированной мощности сигнала и шума увеличение скорости передачи данных влечет за собой возрастание вероятности возникновения ошибок. Результаты измерений приведены в таблице 4.4.

**Таблица 4.4 – Зависимость коэффициента потерь пакетов от скорости передачи**

Этап	Скорость передачи данных, Мбит/с	Коэффициент потерь, %
1	1	0,0
2	2	0,02
3	3	0,14
4	4	0,44
5	5	0,72

Из таблицы 4.4 видно, что при увеличении скорости передачи данных от 1 до 5 Мбит/с коэффициент потерь достигает 0,72%, что заметно влияет на качество передаваемых пакетов информации. Поскольку, технология DSRC применяется на движущихся объектах, то потеря пакетов или передача битых пакетов приравнивается к отсутствию принятой информации, т.к. повторной передачи может не состояться, т.к. транспортное средство покинуло радиус действия конкретной базовой станции.

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для экономической оценки предлагаемой беспроводной системы интеллектуального управления и мониторинга городским наземным транспортом, рассмотрим затраты на внедрение данной системы на примере города Белгорода. Городской общественный транспорт в городе Белгород представлен автобусами, маршрутными такси и троллейбусами.

Всего ежедневно, согласно расписанию автобусов в Белгороде, работает 83 автобусных маршрута.

Второе место по популярности в Белгороде занимают маршрутные такси. Их сеть практически полностью охватывает город – всего в Белгороде действуют 38 маршрутов этого вида транспорта.

Белгородский троллейбус является одним из наименее востребованных видов транспорта в городе. В настоящее время по данным расписания Белгорода действует всего 14 маршрутов троллейбуса. Таким образом, в городе действует 135 маршрутов. На каждый маршрут в среднем приходится по 6 транспортных средств, т.е. в городе работает 810 транспортных средств.

В выпускной квалификационной работе предлагается разработка системы двумя разными способами:

- 1 способ – на основе существующих сетей;
- 2 способ – на основе технологии DSRC.

Для внедрения системы интеллектуального управления и мониторинга городским наземным транспортом с помощью первого способа в каждое транспортное средство необходимо установить оборудование для мониторинга Гранит – Навигатор 2.07. Средняя цена данного навигатора 19200 рублей.

$$19200 \cdot 810 = 15\,552\,000 \text{ рублей}$$

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Также в каждое транспортное средство будет необходимо следующий периферийного оборудования: датчик задымления и температуры в салоне, видеокамера, табло «бегущая строка», микрофон системы видеорегистрации, скрытая тревожная кнопка, датчик учета пассажиропотока. В таблице 5.1 представлены затраты для полного оснащения транспортных средств города Белгорода.

**Таблица 5.1 – затраты на оборудование для системы интеллектуального управления и мониторинга наземным городским транспортом города Белгорода**

№	Оборудование, модель, страна производитель	Кол-во, шт.	Цена, руб.	Итого, руб.
1.	Гранит – Навигатор 2.07, Россия	810	19 200	15 552 000
2.	Датчик задымления BR102 Brennenstuhl 1290300, Китай	810	750	607 500
3.	Видеокамера Proline PR-MD706S, Россия	810	3 800	3 078 000
4.	Табло «бегущая строка» Deeptone 1010-210, Россия	810	7 600	6 156 000
5.	Микрофон системы видеорегистрации Space Technology St-54, Россия	810	680	550 800
6.	Скрытая тревожная кнопка 32207818, Россия	810	500	405 000
7.	Датчик пассажиропотока ПП-01, Россия	810	4 500	3 645 000
8.	Шлюз Cisco SB SPA122-XU	1	10 000	10 000
9.	Сервер управления UnitEco 2S-LO-PR-2000, Россия	1	50 000	50 000
10.	Табло остановочных пунктов ТО1-64х4, Россия	50	60 400	3 020 000
11.	Информационный терминал 20965, Россия	1	174 000	174 000
<b>ИТОГО:</b>				<b>33 248 300 рублей</b>

Разработка системы интеллектуального управления с помощью второго способа основывается на технологии DSRC. В таблице 5.2 представлены затраты на внедрения системы в городе Белгороде с помощью этой технологии.

**Таблица 5.2 – затраты на оборудование для системы интеллектуального управления и мониторинга наземным городским транспортом города Белгорода с помощью технологии DSRC**

№	Оборудование, модель, страна производитель	Кол-во, шт.	Цена, руб.	Итого, руб.
1.	Saha Vox 81C50, Финляндия	810	36 400	29 484 000
2.	Датчик задымления BR102 Brennenstuhl 1290300, Китай	810	750	607 500
3.	Видеокамера Proline PR-MD706S, Россия	810	3 800	3 078 000
4.	Табло «бегущая строка» Deertone 1010-210, Россия	810	7 600	6 156 000
5.	Микрофон системы видеорегистрации Space Technology St-54, Россия	810	680	550 800
6.	Скрытая тревожная кнопка 32207818, Россия	810	500	405 000
7.	Датчик пассажиропотока ПП-01, Россия	810	4 500	3 645 000
8.	Шлюз Cisco SB SPA122-XU	1	10 000	10 000
9.	Сервер управления UnitEco 2S-LO-PR-2000, Россия	1	50 000	50 000
10.	Табло остановочных пунктов ТО1-64x4, Россия	50	60 400	3 020 000
11.	Информационный терминал 20965, Россия	1	174 000	174 000
<b>ИТОГО:</b>				<b>47 180 300 рублей</b>

Таким образом, исходя из полученных результатов можно заметить, что реализация системы с помощью первого способа обходится на 13 932 000 рублей дешевле, но дешевизна не является признаком качества, так как второй способ намного удобнее и эффективнее, что было доказано ранее.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была разработана беспроводная система интеллектуального управления и мониторинга наземным городским транспортом на примере г. Белгорода. Предлагаемая система может стать решением транспортных перегрузок и повышения комфорта и информированности пассажиров. Данная система может быть реализована как на базе существующих сетей, так и на базе технологии Dedicated Short Range Communication DSRC, что и было описано в работе.

Подобные системы позволяют информировать граждан и предприятия об организации транспортного обслуживания на территории региона, управлять общими транспортными потоками, организовывать движения общественного транспорта, электронные платежи, обеспечивать необходимыми сервисами коммерческих перевозчиков, управлять автомобилями экстренных служб, повышать безопасность дорожного движения, обеспечивать информационную и техническую поддержку водителей, снижать транспортную нагрузку. Затраты на реализацию системы на базе существующих сетей связи - 33 248 300 рублей.

Затраты на реализацию системы на базе технологии DSRC - 47 180 300 рублей.

При сравнительном анализе технологий установлено, что технология DSRC является более универсальной и скоростной, а также имеет очень быстрое время соединения (порядка 25 мс). Технология DSRC в полной мере подходит для решения современных задач городских ИТС.

Таким образом все поставленные цели и задачи в ВКР выполнены в полном объеме.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амбарцумян В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. — М.: Научтехлитиздат, 1999. — 208 с.;
2. Балабаева И. Особенности функционирования общественного пассажирского транспорта... / И. Балабаева // Автомобильный транспорт. — 2004. — N 4
3. Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма: Учебное пособие/ Под ред. М.С. Немировского, О.А. Шорина. – П.: Эко-Трендз, 2010. – 400с.:ил.;
4. Григорьев В.А., Хворов И.А. Автомобильные сети: будущее не за горами// Радиочастотный спектр.—2012.—№ 5Транспортная телематика в дорожной отрасли: учеб. пособие / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. - М.: МАДИ, 2013. – 80 с.;
5. Кузнецов В.И., Распаев Ю.А., Тараканов С.А., Хворов И.А. Особенности проектирования элементов ИТС в рамках реализации пилотной зоны // Электросвязь. – 2013 – №10
6. Транспортная телематика в дорожной отрасли: учеб. пособие / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. - М.: МАДИ, 2013. – 80 с.;
7. Экономика отрасли: учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию /Ахмадеева М.М., Каткова Т.Е. — Йошкар — Ола: МарГТУ, 2006. — 128 с.;
8. FCC Code of Federation Regulations 47, Part 95. // Personal Radio Services, 2009;
9. Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5855 MHz to 5925 MHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive Final draft ETSI EN 302 571 V1.1.1 (2008-09). – European Telecommunications Standards Institute, 2008;

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

10. IEEE 1609.2-2006 — Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Security Services for Applications and Management Messages 37 802.11p-2010;

11. ISSN 0013-5771 «ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ», №10, 2013;

12. ISSN 2224-5499 "Вестник ГЛОНАСС" Декабрь, 2013 №4 (15);

13. IEEE Standard for information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements Part 11; Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments; IEEE 802.11-2012.— Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012;

14. J. Benson, T. Donovan, P. Sullivan, U. Roedig, and C. Sreenan, “Carpark management using wireless sensor networks,” in Proc. 31st IEEE Conf. Local Comput. Netw., 2006, pp. 588–595;

15. Sato, Y., Makane, K.: Development and Evaluation of In-Vehicle Signing System Utilizing RFID Tags as Digital Traffic Signals. Int. J. ITS Res. 4, 53–58 (2006);

16. Yunxin (Jeff) Li. An Overview of the DSRC/WAVE Technology QSHINE, v. 74 of Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering p. 544-558 //Springer.— 2010.

					<i>11070006.11.03.02.115.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68