

зи между абонентскими устройствами (что важно для предупреждения столкновений движущихся ТС), более надежна, адаптивна, поддерживает локальную обработку данных и при этом не конкурирует с существующими телекоммуникационными технологиями, а дополняет их.

**Заключение.** В создании и внедрении ИТС научные коллективы должны играть ведущую роль, способствуя реализации перспективных государственных программ и закладывая законодательную, методическую и техническую основу создания ИТС. К сожалению, деятельность научных организаций, производителей оборудования, системных интеграторов, провайдеров услуг и других участников рынка ИТС государством никак не координируется и не регламентируется. Приходится констатировать, что

в условиях отсутствия в России целенаправленной национальной политики в области ИТС развитие элементов системы ведется за счет собственных проектов различных вузов и коммерческих организаций.

Одним из перспективных проектов в рамках реализации концепции ИТС стало создание в Санкт-Петербурге силами НИУ ИТМО пилотной зоны, где отрабатываются процессы строительства сети передачи данных между подвижными транспортными средствами и объектами транспортной инфраструктуры на основе технологии DSRC; в дальнейшем предполагается масштабирование сети в пределах города.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 20.02.2006 № 100 «О федеральной целевой программе «Повышение

безопасности дорожного движения в 2006—2012 годах» (в ред. Постановления Правительства РФ от 18.08.2007 № 528).

2. Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р «О транспортной стратегии Российской Федерации».
3. Постановление Правительства Москвы от 11.01.2011 № 1-ПП «О создании интеллектуальной транспортной системы города Москвы».
4. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 13.07.2011 № 945 «О транспортной стратегии Санкт-Петербурга до 2025 года».
5. Отчет о выполнении НИР по проекту «Разработка концепции создания интеллектуальной транспортной системы на автомобильных дорогах федерального значения». — МАДИ (ГТУ), 2009.

Получено 20.08.13

УДК 621.396

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИТС

**В. А. Григорьев**, заведующий кафедрой беспроводных телекоммуникаций НИУ ИТМО, д.т.н.

**И. А. Хворов**, доцент кафедры беспроводных телекоммуникаций НИУ ИТМО, к.т.н.; khvorov@labiks.ru

**И. А. Кузнецов**, старший научный сотрудник ООО «Конструкторское бюро современных технологий НИУ ИТМО»

**В. О. Аксенов**, аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

**Ключевые слова:** транспортное средство, интеллектуальная транспортная система, система глобального позиционирования, геоинформационная система, система подвижной связи, технология DSRC.

**Введение.** 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 эффективности функционирования системы обеспечения безопасности и крайне низкой дисциплиной участников дорожного движения. Одним из наиболее значимых инструментов решения данной проблемы является создание и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1—3].

Концептуально организационная структура ИТС состоит из трех иерар-

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

**Основные технологические системы информационного обеспечения ИТС.** 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.

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 позволяет 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, 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 телематика 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, 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 стадии разработки и исследования беспроводных технологий. Среди дей-

ствующих надо назвать DSRC, технологии систем 4G (LTE-Advanced, IEEE 802.16m и 802.16j) и технологии построения гибридных наземно-спутниковых систем.

Технология DSRC [1] 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.

Технологии построения гибридных наземно-спутниковых сетей весьма разнообразны, они используются в спутниковых (S-UMTS, DVB-S/S2, DVB-SH) и наземных системах связи (GSM, UWB, IEEE 802.22) [4—6].

Среди беспроводных технологий, находящихся на стадии разработки и исследования, следует выделить технологии построения систем когнитивного радио (например, описанные в стандарте IEEE 802.22) и когнитивных сетей (особенно когнитивных наземно-спутниковых сетей), технологии динамического использования спектра (стандарты серии IEEE 1900). Перечисленные технологии предусматривают применение методов искусственного интеллекта (представления знаний, принятия решений машинами, нейронных сетей и нечеткой логики) для формирования специальных циклов (когнитивных), необходимых для работы системы. Рассмотрению этих перспективных технологий и их применению в ИТС будут посвящены отдельные статьи в рамках 2-го блока данной тематической подборки.

**Структурная модель технологии DSRC.** 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 объ-

## Технические характеристики стандартов 802.11a и 802.11p

Параметры	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
Скорость передачи информации на физическом уровне, Мбит/с	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 27
Виды модуляции	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Скорость кодирования	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4
Количество поднесущих	52	52
Длительность символа, мкс	4	8
Защитный интервал, мкс	0,8	1,6
Длительность FFT-преобразования, мкс	3,2	6,4
Длительность преамбулы, мкс	16	32
Полоса частот на поднесущей, МГц	0,3125	0,15625

ектах 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

OBU 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 OBU поправку в определении координат ТС.

На рис. 1 представлены сокращенные наименования протоколов, реализуемых на различных уровнях сетевой модели OSI. На физическом и MAC-уровне [7] DSRC использует протокол WAVE (Wireless Access for Vehicular Environments) [3, 8], который является заменой традиционного Wi-Fi. В середине стека DSRC применяется набор стандартов IEEE 1609: IEEE 1609.4 — для переключения каналов, IEEE 1609.3 — для обслуживания сетевого и транспортного уровней, включая WSMP (WAVE Short Message Protocol), и IEEE 1609.2 — для обеспечения безопасности передаваемой информации.

С другой стороны, IEEE 802.11p является спецификацией стандарта IEEE 802.11—2007. На физическом уровне используются сигналы OFDM, аналогичные сигналам технологии IEEE 802.11a.

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 802.11p — половинная частота тактового генератора (полоса частот соответственно 10 МГц).

При использовании пониженной частоты тактового генератора в сигнале физического уровня 802.11p по сравнению с сигналом 802.11a происходят изменения параметров: длина символа увеличивается вдвое, за счет чего повышается устойчивость к замираниям. Сравнение характеристик стандартов 802.11a и 802.11p, приведенное в таблице, показывает их общую основу.

Параметры спектральной маски и значения подавления помех по соседнему каналу в стандарте IEEE 802.11p также отличаются от значений базового стандарта IEEE 802.11-2007.

Для каждой ширины полосы определены четыре спектральные маски для трех классов мощности:

- класс А (максимальная выходная мощность 0 дБм);
- класс В (максимальная выходная мощность 0 дБм);
- класс С (максимальная выходная мощность 20 дБм);
- класс D (максимальная выходная мощность 28,8 дБм).

На рис. 2 представлены спектральные маски для ширины полосы 5 и 10 МГц, определенные относительно пиковой спектральной плотности мощности, измеряемой в dBm (относительная единица измерения мощности сигнала, определяемая как разность между мощностью в какой-либо точке передающего тракта по отношению к нулевому контрольному уровню).

В стандарте 802.11p пропускная способность канала составляет 10 МГц и спектральная маска смещена на 15 МГц относительно центральной частоты каждого канала при половинной частоте тактового генератора.

Спектральная маска для полосы 10 МГц класса А идентична спектральной маске стандарта IEEE 802.11j.

Устройство, использующее OFDM 10 МГц, должно поддерживать скоро-

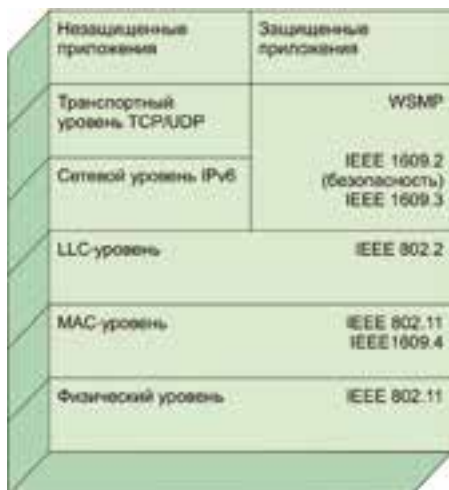


Рис. 1. Протоколы, используемые на различных уровнях сетевой модели OSI

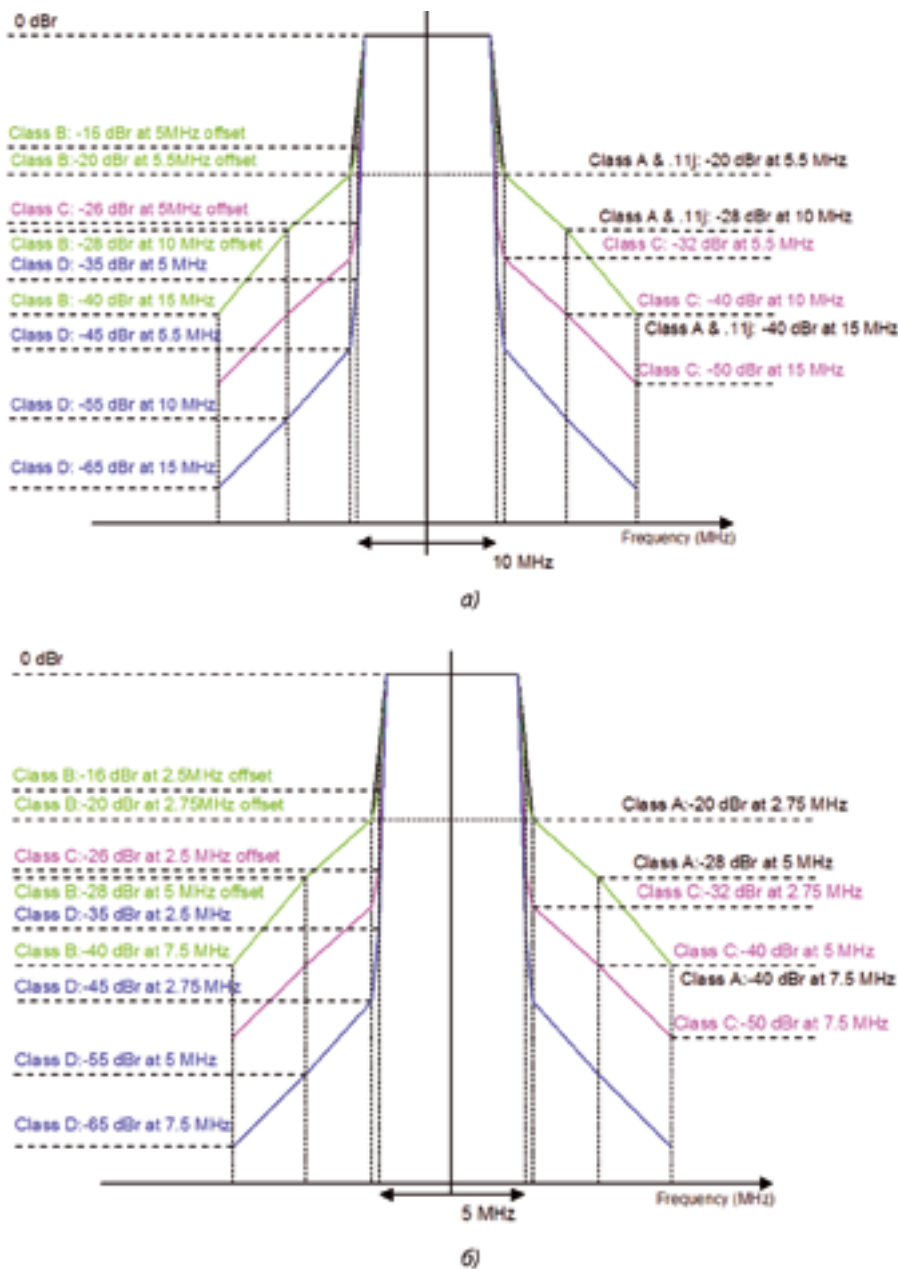


Рис. 2. Спектральная маска для значений ширины полосы 10 МГц (а) и 5 МГц (б)

сти передачи данных в 3, 6, 12 Мбит/с; прочие скорости являются опциональными. Порядок использования набора битовых скоростей для нужд DSRC V2V определен в документе SAE J2945.1 [9].

Диапазон используемых частот DSRC лежит в пределах от 5,850 до 5,925 ГГц, составляет 75 МГц, содержит семь каналов по 10 МГц и полосу в 5 МГц в начале спектра в качестве защитной зоны [10]. В рамках имеющейся полосы частот имеется возможность путем их объединения организовать два канала по 20 МГц.

Использование канала 10 МГц основано на его большей устойчивости к задержкам и влиянию доплеровского сдвига, чем у канала 20 МГц, что важно в условиях применения систе-

мы в интересах транспортных служб. Канал 20 МГц менее подвержен перегрузкам, потому как для передачи кадра по нему требуется в два раза меньше времени, чем по каналу в 10 МГц, что снижает вероятность столкновения ТС. С другой стороны, канал 20 МГц более подвержен воздействию шумов и межсимвольной интерференции из-за задержки распространения.

**Заключение.** На ранних стадиях разработки концепции ИТС для решения различных задач предполагалось использовать уже существующие системы, наиболее полно удовлетворяющие потребностям новой инфраструктуры. Однако оптимальным было бы разработать средство, позволяющее эффективно решать проблему переда-

чи данных как между самими движущимися транспортными средствами, так и между объектами дорожной инфраструктуры. Работа в этом направлении привела к созданию технологии DSRC, базирующейся на стандарте IEEE 802.11p, а также к объединению технологий, используемых при построении наземных и спутниковых систем и созданию гибридных наземно-спутниковых сетей.

Технология DSRC в диапазоне 5,9 ГГц поддерживает большое количество сервисов и приложений, включая систему предотвращения столкновений, и тем самым помогает спасти множество жизней и сэкономить миллионы рублей. Эта технология существенно зависит от совместимости внутри IEEE 802.11. На сегодняшний день физический уровень DSRC полностью описан в стандарте, однако требуется дальнейшая работа по формированию требований в рамках стандарта IEEE 1609.

Помимо дальнейшего развития технологии DSRC и ее все более активного использования в ИТС, в ближайшем будущем можно ожидать распространения принципов динамического доступа к спектру, когнитивного радио и когнитивных сетей, методов искусственного интеллекта для решения существующих и будущих проблем ИТС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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 302571 V1.1.1 (2008—09).— European Telecommunications Standards Institute, 2008.
3. Li, Yunxin (Jeff). An Overview of the DSRC/WAVE Technology // Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 2012.— Vol. 74.— Pp. 544—558.
4. Iapichino G., Bonnet C. Advanced Hybrid Satellite and Terrestrial System Ar-

- chitecture for Emergency Mobile Communications // 26<sup>th</sup> International Communications Satellite Systems Conference, 10—12 June 2008, San Diego, CA.
5. **Koffman I.** Hybrid Satellite-Terrestrial Networks; A Novel Concept For Interactive Digital Television. URL: <http://www.broadcastpapers.com>.
  6. **Neff D.** Satellite/Terrestrial Mobile Media System Design and Implementation URL: <http://www.axcerarussia.ru>.
  7. Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems — 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: ASTM E2213—03.— Committee E17.51 on Vehicle Roadside Communication, 2010.
  8. Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Architecture. The Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Working Group of the Intelligent Transport Systems (ITS) Committee: IEEE P1609.0 D0.1.— Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010.
  9. Dedicated Short Range Communication (DSRC) Minimum Performance Requirements: SAE J2945.— Society of Automotive Engineers, 2010.
  10. **Григорьев В.А., Хворов И.А.** Автомобильные сети: будущее не за горами // Радиочастотный спектр.— 2012.— № 5.

Получено 04.09.13

УДК 656.13: 621.396

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИТС В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПИЛОТНОЙ ЗОНЫ

**В. И. Кузнецов**, директор ООО «Конструкторское бюро современных технологий НИУ ИТМО»

**Ю. А. Распаев**, доцент кафедры беспроводных телекоммуникаций НИУ ИТМО, к.т.н.

**С. А. Тараканов**, директор ЦМЭПиБТ НИУ ИТМО, к.т.н.

**И. А. Хворов**, доцент кафедры беспроводных телекоммуникаций НИУ ИТМО, к.т.н.; [khvorov@labiks.ru](mailto:khvorov@labiks.ru)

**Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, пилотная зона, этапы проектирования, жизненный цикл, функциональная архитектура, техническое задание, технология DSRC.

**Введение.** В мировой практике интеллектуальные транспортные системы (ИТС) признаны как общетранспортная идеология интеграции достижений телематики во все виды транспортной деятельности. Эта идеология концентрирует в себе поиски решения проблем экономического и социального характера: сокращения аварийности, повышения эффективности общественного транспорта и грузоперевозок, обеспечения транспортной безопасности, улучшения экологических показателей. Основные направления и конкретные проекты создания ИТС определяются категорией пользователей, на которых они ориентированы, и выбором сервисов, востребованных указанными пользователями.

В рамках реализации отдельных технологий ИТС широко распространена практика организации пилотных (опытных) зон, в масштабах которых проводятся мероприятия по решению частных задач, связанных с разработкой архитектуры, проектированием, строительством и эксплуатацией отдельных элементов ИТС.

При рассмотрении особенностей проектирования пилотной зоны следует выделить необходимость разработ-

ки требований к ее функциональной и физической архитектуре, схемы взаимодействия между субъектами и объектами, функций взаимодействия отдельных элементов и подсистем и т.д.

Архитектура ИТС определяет основные принципы организации подобных систем и взаимосвязи компонентов ИТС между собой и с внешней средой, а также руководство по их разработке, внедрению и оценке эффективности использования. Фактически архитектура ИТС представляет собой некую рамочную структуру, в границах которой могут быть предложены различные комплексные подходы к проектированию с учетом индивидуальных потребностей заказчика и необходимых пользовательских сервисов.

**Общие принципы проектирования ИТС.** Вопросы проектирования любого объекта связаны с установлением этапов его жизненного цикла. В первую очередь для конкретного разрабатываемого проекта, будь то небольшая пилотная зона или ИТС города, должны быть определены количественные и качественные критерии эффективности функционирования. Исходя из этих критериев, формируется задание на проектирование, в котором учитываются интересы заказчика, а также накопленный опыт создания подобных объектов.

Если проект небольшой, например пилотная зона, необходимо предусмотреть варианты (методику) его масшта-

бирования, т.е. технического и территориального расширения, при условии оптимального вложения и окупаемости инвестиций.

Важнейшей составляющей проектирования элементов ИТС является формирование функциональной архитектуры на основе заданных количественных и качественных критериев эффективности функционирования, разрабатываемых сервисов и вертикали уровней пользователей.

Общая, единая ИТС России, как нам представляется, должна иметь следующие основные уровни.

1. Муниципальный: обеспечиваются централизованная управляемость наземного транспорта на заданной территории, а также мониторинг общественного транспорта и диспетчерское управление его отдельными видами (транспортные средства МЧС, милиции и скорой помощи, спецтехника и т.п.).

2. Региональный: обеспечиваются мониторинг передвижения наземного транспорта по территории области или субъекта федерации, а также безопасность междугородных и транзитных перевозок.

3. Федеральный: обеспечиваются мониторинг передвижения наземного транспорта на территории всей Российской Федерации, а также безопасность международных и межвидовых перевозок. В созданную радиоэлектронную инфраструктуру ИТС стра-