НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

**Ассоциация разработчиков, производителей и потребителей оборудования и приложений на основе глобальных навигационных спутниковых систем "ГЛОНАСС / ГНСС - Форум"**

*125319, г. Москва, ул. Восьмого марта 4-я, д. 3, тел.+7 (499) 152-31-70, факс+7 (499) 152-96-35*

# АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ

## по итогам исследования состояния и перспектив развития рынка технологий связи (технологии «ITS-G5/DSRC», технологии «LTE-V2X», сети и оборудование передачи данных технологии «IoT» (технология «интернета вещей»), управление мобильными подписками многопрофильных сим-карт (технология «eUICC»), технологии мобильной передачи данных, персональная спутниковая связь, технология «Bluetooth Low Energy» и пр.), а также оценки влияния на развитие российского и международного рынка «Автонет».

Москва 2019

**Исследование состояния и перспектив развития рынка технологий связи, оценка влияния на развитие российского и международного рынка «Автонет» (аналитический отчёт, 2019).** Рассмотрены общие сведения о технологиях связи (характеристики, классификация, области применения); определены технологические драйверы развития мирового рынка технологий связи; приведена оценка технологических и экономических индикаторов рынка; предоставлена географическая структура мирового рынка технологий связи по основным регионам (Европа, Северная Америка, АТР); описана отраслевая структура мирового рынка технологий связи; предоставлен обзор зарубежных разработчиков технологий связи; проанализирован российский рынок технологий связи; рассмотрена деятельность ведущих российских разработчиков технологий связи, а также компаний, предоставляющих услуги на основе использования технологий связи; оценено влияние на российский и международный рынок "Автонет". Москва, 2019. – 253 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ..... 9
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ ..... 16
ВВЕДЕНИЕ ..... 21
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ..... 22
МЕТОДОЛОГИЯ ..... 31
ГЛАВА 1. Назначение беспроводных сетей ..... 33
1.1 Общие сведения о беспроводных сетях ..... 33
1.2 Стандартизация в области беспроводной связи ..... 51
1.2.1 Деятельность ведущих организаций по стандартизации ..... 51
1.2.2 Стандартизация в области мобильной связи ..... 54
1.2.3 Стандартизация в области интернета вещей ..... 73
1.2.4 Стандартизация в области ИТС ..... 90
1.2.5 Стандарт eSIM ..... 104
1.3 Классификация беспроводных сетей ..... 105
ГЛАВА 2. Обзор технологий беспроводных сетей ..... 118
2.1 Технологии беспроводных персональных сетей ..... 118
2.2 Технологии беспроводных локальных сетей ..... 123
2.3 Технологии беспроводных городских сетей ..... 126
2.4 Технологии беспроводных глобальных сетей ..... 128
2.5 Технологии энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия ..... 138
2.6 Технологии беспроводной связи на транспорте ..... 142
2.6.1 Технология ITS-G5/DSRC ..... 142
2.6.2 Технология C-V2X (LTE-V2X) ..... 144
2.7 Управление мобильными подписками многопрофильных СИМ-карт (технология eUICC) ..... 146
2.8 Технологические индикаторы рынка технологий связи ..... 157

ГЛАВА 3. Состояние и перспективы развития мирового рынка технологий беспроводной связи ..... 165
3.1 Ключевые рыночные тенденции и драйверы развития беспроводных технологий связи ..... 165
3.2 Мировой рынок технологий мобильной связи ..... 166
3.3 Мировой рынок технологий интернета вещей ..... 171
3.4 Мировой рынок технологий связи на транспорте ..... 178
3.5 Мировой рынок технологий многопрофильных СИМ-карт ..... 181
ГЛАВА 4. Состояние и перспективы развития российского рынка технологий беспроводной связи ..... 187
4.1 Российский рынок технологий мобильной связи ..... 187
4.2 Российский рынок технологий интернета вещей ..... 194
4.3 Российский рынок технологий связи на транспорте ..... 203
4.4 Российский рынок технологий многопрофильных СИМ-карт ..... 203
ГЛАВА 5. Оценка влияния рынка беспроводных технологий на развитие российского и международного рынка «Автонет» ..... 207
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ..... 212
ПРИЛОЖЕНИЕ ..... 229

## СПИСОК ТАБЛИЦ

Табл. 1 – Группы спецификаций 3GPP (38 серия) ..... 69
Табл. 2 – Спецификации и отчеты 3GPP, определяющие требования к сети радиодоступа NG-RAN 5G ..... 69
Табл. 3 – Спецификации и отчеты 3GPP, определяющие требования к архитектуре сети 5G ..... 70
Табл. 4 – Спецификации 3GPP, отражающие стандарты бизнес-моделей и требования к сетям 5G ..... 70
Табл. 5 – Характеристики технологий для IoT/M2M ..... 85
Табл. 6 – Релизы и стандарты ETSI для сетей M2M ..... 86
Табл. 7 – Состав комитета ISO/TC 204 ..... 92
Табл. 8 – Состав комитета CEN/TC 278 ..... 95
Табл. 9 – Основные технические характеристики и условия использования устройств локальных радиосетей ..... 103
Табл. 10 – Основные технические характеристики РЭС интеллектуальных систем на транспорте (ITS) ..... 104
Табл. 11 – Классификация беспроводных сетей ..... 115
Табл. 12 – Испытания и пробное развертывание сетей 5G на частотах до 6 ГГц и выше, вплоть до миллиметрового диапазона ..... 135
Табл. 13 – Спецификации частотных диапазонов и типов сигналов стандарта 5G NR ..... 136
Табл. 14 – Типы сотовых соединений ..... 137
Табл. 15 – Сравнение DSRC/WAVE с возможностями других беспроводных технологий ..... 143
Табл. 16 – Технологические индикаторы рынка технологий связи, соответствующие технологиям беспроводной связи (согласно методологии компании Gartner) ..... 159
Табл. 17 – Технологические индикаторы рынка технологий связи, определяемые на основе анализа баз данных Crunchbase и AngelList ..... 161
Табл. 18 – Протоколы, стандарты и спецификации, поддерживаемые и регулируемые IEEE ..... 229

Табл. 19 – Перечень одобренный рекомендаций ITU-T, разработанных ИК13 и относящихся к IMT-2020 ..... 231
Табл. 20 – Спецификации 3GPP Релиза 15 по 5G (серия 38) ..... 232
Табл. 21 – Письмо Еврокомиссии, устанавливающее развертывание систем ITS в Европе (COM/2016/0766) ..... 236
Табл. 22 – Основные архитектурные стандарты кооперативной ИТС ..... 237
Табл. 23 – Архитектурные стандарты C-V2X и связанные с ними ..... 239
Табл. 24 – Стандарты ETSI уровня приложений ИТС ..... 240
Табл. 25 – Стандарты ETSI уровня приложений ИТС (в процессе разработки) ..... 241
Табл. 26 – Стандарты ETSI уровня представлений ИТС ..... 242
Табл. 27 – Стандарты передачи данных между узлами инфраструктуры ИТС ..... 243
Табл. 28 – Стандарты передачи данных между узлами инфраструктуры ИТС (в процессе разработки) ..... 243
Табл. 29 – Стадии цикла Гартнера ..... 245
Табл. 30 – Уровни готовности технологий ..... 245
Табл. 31 – Процент проникновения технологии на рынок ..... 246
Табл. 32 – Скорость адаптации технологии на рынке ..... 246
Табл. 33 – Воздействие технологии на бизнес ..... 247
Табл. 34 – Преимущества от внедрения технологии ..... 247
Табл. 35 – Стадии развития компаний ..... 248
Табл. 36 – Этапы финансирования проекта (типы сделок входа/выхода) ..... 249
Табл. 37 – Критерии поиска информации в базах данных Crunchbase и AngelList ..... 250
Табл. 38 – Тестирование предкоммерческих решений для оборудования 5G ..... 251
Табл. 39 – Результаты тестирования оборудования pre-5G в Российской Федерации ..... 253

# СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рис. 1 – Эволюция форм общественного производства ..... 34
Рис. 2 – Этапы эволюции сетей электросвязи ..... 35
Рис. 3 – Общая архитектура ИТС ..... 46
Рис. 4 – Требования различных сервисов к сетям передачи данных ..... 50
Рис. 5 – Структура и области ответственности 3GPP ..... 55
Рис. 6 – Структура идентификатора спецификации 3GPP ..... 56
Рис. 7 – Планы ITU-R по развитию IMT-2020 ..... 62
Рис. 8 – План ITU по оценке предложений и одобрения радиоинтерфейса ..... 65
Рис. 9 – Этапы разработки технических спецификаций 5G ..... 66
Рис. 10 – План работ по Релизу 15 3GPP ..... 67
Рис. 11 – План работ по Релизу 16 3GPP ..... 68
Рис. 12 – Структура и области ответственности oneM2M ..... 71
Рис. 13 –. Участники разработки стандартов, рекомендаций и протоколов в сфере Интернета вещей ..... 75
Рис. 14 – Структура ISO/IEC JTC1/SC41 ..... 79
Рис. 15 – Эволюция и планы 3GPP по стандартизации решений для IoT/ M2M ..... 84
Рис. 16 – Организации-разработчики стандартов ИТС ..... 91
Рис. 17 – Рабочий план по стандартизации 3GPP V2X ..... 97
Рис. 18 – Эволюция глобальных беспроводных сетей (1G-4G) ..... 132
Рис. 19 – Перспективный план ускоренного развития 5G NR ..... 134
Рис. 20 – Архитектура интегрированного электронного устройства eUICC ..... 146
Рис. 21 – Интерфейсы взаимодействия в стандарте eSIM ..... 149
Рис. 22 – Пример организации связи между устройством и SM-DP+ ..... 151
Рис. 23 – Конфигурации внедрения SM-DS ..... 153
Рис. 24 – Процедура регистрации и удаления события ..... 154
Рис. 25 – Процедура работы службы обнаружения ..... 156
Рис. 26 – Хайп-цикл Гартнера (2019 г.) ..... 157
Рис. 27 – Карта технологий рынка «Автонет» (на 2019 г.) ..... 162
Рис. 28 – мировой рынок интернета вещей в 2016-2019 гг., трлн. долл. ..... 172
Рис. 29 – Прогнозы роста мирового рынка интернета вещей в денежном выражении (трлн. долл.) ..... 173

Рис. 30 – Прогнозы роста физического объема мирового рынка интернета вещей (млрд. ед.) ..... 173
Рис. 31 – Отраслевая структура рынка интернета вещей в 2015 и 2020 гг. (млрд. долл.) ..... 174
Рис. 32 – Отраслевая структура рынка IoT в 2018 г. (количество проектов) ..... 176
Рис. 33 – Отраслевая структура рынка IoT в 2020 г. (денежная оценка) ..... 176
Рис. 34 – Географическая структура рынка IoT в 2018 г. ..... 177
Рис. 35 – Прогноз рынка многопрофильных СИМ-карт по регионам на 2023 г. ... 182
Рис. 36 – Прогноз поставок многопрофильных СИМ-карт до 2021 г. (млн. ед.) .... 184
Рис. 37 – Крупнейшие производители чипов eSIM в 2018 г. ..... 184
Рис. 38 – Процент подключаемости к мобильным сетям в России ..... 188
Рис. 39 – Стоимости и объем данным мобильного трафика ..... 190
Рис. 40 – Показатель среднего дохода на пользователя мобильных данных ..... 190
Рис. 41 – Доходы рынка мобильной связи в России ..... 191
Рис. 42 – Прогноз внедрения 5G в России ..... 194
Рис. 43 – Оценки российского рынка интернета вещей в 2015–2022 гг. (млрд. долл.) ..... 195
Рис. 44 – Доля России в мировом ВВП по текущим ценам и сравнение с оценками доли рынка IoT в 2015–2022 гг. ..... 197
Рис. 45 – Структура российского рынка IoT по секторам, 2015 г. ..... 198
Рис. 46 – Структура российского рынка IoT по отраслям в 2017 г. ..... 199
Рис. 47 – Релизы 3GPP с 2000 по 2020 гг. ..... 230

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Автомобильная система / устройство вызова экстренных оперативных служб (АС)** – система или устройство, устанавливаемые на колесном транспортном средстве соответствующей категории и предназначенные для определения координат, скорости и направления движения транспортного средства при помощи сигналов глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС совместно с другой действующей ГНСС, передачи сообщения о транспортном средстве при дорожно-транспортном и ином происшествиях в автоматическом (система) или ручном (устройство) режиме и двустороннюю голосовую связь с экстренными оперативными службами по сетям подвижной радиотелефонной связи.

**Абонент** - пользователь услугами связи, с которым заключен договор об оказании таких услуг при выделении для этих целей абонентского номера или уникального кода идентификации.

**Высокочастотные устройства** - оборудование или приборы, предназначенные для генерирования и использования радиочастотной энергии в промышленных, научных, медицинских, бытовых или других целях, за исключением применения в области электросвязи.

**Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС)** – навигационная спутниковая система, предназначенная для определения пространственных координат, составляющих вектора скорости движения, поправки показаний часов и скорости изменения поправки показаний часов потребителя ГНСС в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства.

**Диспетчерский пункт** - элемент системы диспетчерского управления, реализующий функции планирования, контроля и оперативного управления транспортными средствами транспортного предприятия.

**Диспетчерский центр** - элемент системы диспетчерского управления, реализующий функции контроля и координации деятельности транспортного комплекса субъекта РФ или муниципального образования.

**Дорожно-транспортное происшествие** – событие, возникшее в процессе движения по дороге транспортного средства и с его участием, при котором погибли или ранены люди, повреждены транспортные средства, сооружения, грузы либо причинен иной материальный ущерб.

**Использование радиочастотного спектра** - обладание разрешением на пользование и (или) фактическое пользование полосой радиочастот, радиочастотным каналом или радиочастотой для оказания услуг электросвязи и других не запрещенных федеральными законами или иными нормативными правовыми актами Российской Федерации целей.

**Линии связи** - линии передачи, физические цепи и линейно-кабельные сооружения связи.

**Модуляция** – процесс, в котором, по крайней мере, один параметр несущего сигнала изменяется в соответствии с изменением характерного параметра передаваемого сигнала.

**Мониторинговая информация** – совокупность навигационной и телеметрической информации, привязанной к шкале времени, передаваемой от бортового навигационно-связного оборудования в диспетчерские пункты и центры.

**Навигационная деятельность** - деятельность, связанная с определением и использованием координатно-временных параметров объектов.

**Навигационно-информационная система** - автоматизированная система, основанная на реализации метода спутниковой радионавигации и предназначенная для проведения навигационных определений, передачи от объектов навигации мониторинговой информации и формирования на ее основе системной навигационной информации, предоставляемой потребителям в требуемом виде и с требуемой оперативностью.

**Несущая** – волновой (колебательный) процесс, количественные характеристики которого изменяются полезным сигналом.

**Несущий сигнал** – сигнал определенной частоты, выбранной для передачи данных и позволяющий осуществлять передачу данных на большие расстояния.

**Несущая частота** – аналоговый сигнал фиксированной амплитуды и частоты.

**Объекты навигационной деятельности** - объекты, оснащенные средствами навигации и (или) использующие средства навигации в целях навигационной деятельности, а также объекты, обеспечивающие функционирование средств навигации.

**Оператор связи** - юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, оказывающие услуги связи на основании соответствующей лицензии.

**Определение местоположения потребителя ГНСС (местоопределение потребителя)** – определение пространственных координат потребителя ГНСС.

**Подвижная служба** – служба радиосвязи между подвижной станцией и сухопутной станцией или между подвижными станциями.

**Подвижная станция** – станция подвижной службы, предназначенная для работы во время движения или во время остановок в неопределенных пунктах.

**Пользовательское оборудование (оконечное оборудование)** - технические средства для передачи и (или) приема сигналов электросвязи по линиям связи, подключенные к абонентским линиям и находящиеся в пользовании абонентов или предназначенные для таких целей.

**Пользователь услугами связи** - лицо, заказывающее и (или) использующее услуги связи.

**Протокол передачи данных** – формализованный набор требований к структуре пакетов информации и алгоритму обмена пакетами информации между устройствами сети передачи данных.

**Радиоканал** - сформированная в соответствии с сеткой вещания и выходящая в свет (эфир) под постоянным наименованием и с установленной периодичностью совокупность теле-, радиопрограмм и (или) соответственно иных аудиовизуальных, звуковых сообщений и материалов.

**Радиопомеха** - воздействие электромагнитной энергии на прием радиоволн, вызванное одним или несколькими излучениями, в том числе радиацией, индукцией, и проявляющееся в любом ухудшении качества связи, ошибках или потерях информации, которых можно было бы избежать при отсутствии воздействия такой энергии.

**Радиочастота** - частота электромагнитных колебаний, устанавливаемая для обозначения единичной составляющей радиочастотного спектра.

**Радиочастотный спектр** - упорядоченная совокупность радиочастот в установленных Международным союзом электросвязи пределах, которые могут быть использованы для функционирования радиоэлектронных средств или высокочастотных устройств.

**Радиоэлектронные средства** - технические средства, предназначенные для передачи и (или) приема радиоволн, состоящие из одного или нескольких передающих и (или) приемных устройств либо комбинации таких устройств и включающие в себя вспомогательное оборудование.

**Сеть связи** - технологическая система, включающая в себя средства и линии связи и предназначенная для электросвязи или почтовой связи.

**Сеть подвижной связи** – телефонная сеть связи, не определяемая географически в пределах территории Российской Федерации, которая предназначена для оказания услуг подвижной радиосвязи и/или подвижной радиотелефонной связи и использует ресурс нумерации географически не определяемых зон нумерации.

**Сеть радиосвязи** – сеть электросвязи, предназначенная для обеспечения беспроводной связью абонентских станций и представляющая собой совокупность базовых станций, узлов коммутации и линий связи.

**Система автомобильной навигации** - портативные навигаторы и смартфоны с функцией навигации, а также встраиваемые автомобильные мультимедийные системы с функцией навигации.

**Система вызова экстренных оперативных служб** – система, выполняющая функции устройства вызова экстренных оперативных служб, обеспечивающая передачу сообщения о транспортном средстве при дорожно-транспортном и ином происшествиях в автоматическом режиме.

**Система экстренного реагирования при авариях (система «ЭРА-ГЛОНАСС»)** – Федеральная государственная территориально-распределенная автоматизированная информационная система, обеспечивающая оперативное получение с использованием сигналов глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС совместно с другой действующей ГНСС информации о дорожно-транспортных происшествиях и иных чрезвычайных ситуациях на автомобильных дорогах, обработку, хранение и передачу этой информации экстренным оперативным службам, а также доступ к указанной информации заинтересованных государственных органов, органов местного самоуправления, должностных лиц, юридических и физических лиц.[1]

**Спутниковая радионавигация (навигация)** - метод навигационных определений, заключающийся в решении навигационных задач путем

[1] Примечание - В Республике Беларусь система экстренного реагирования при авариях называется "ЭРА-РБ", в Республике Казахстан - "ЭВАК", в Российской Федерации - "ЭРА-ГЛОНАСС". Аналогом вышеуказанных систем является разрабатываемая общеевропейская система eCall, с которой эти системы гармонизированы по основным функциональным свойствам (использование тонального модема как основного механизма передачи данных; унифицированные состав и формат обязательных данных, передаваемых в составе минимального набора данных о дорожно-транспортном происшествии, единообразные правила установления и завершения двустороннего голосового соединения с лицами, находящимися в кабине транспортного средства и др.).

обработки данных, полученных средствами навигации на объектах навигации в результате приема радиосигналов, излучаемых с космических аппаратов.

**Средства навигации** - технические средства, устройства и системы, предназначенные для формирования навигационных сигналов, передачи, приема, обработки, хранения и визуализации навигационной информации.

**Средства связи** - технические и программные средства, используемые для формирования, приема, обработки, хранения, передачи, доставки сообщений электросвязи или почтовых отправлений, а также иные технические и программные средства, используемые при оказании услуг связи или обеспечении функционирования сетей связи, включая технические системы и устройства с измерительными функциями.

**Телеметрическая информация** — совокупность данных о состоянии контролируемого объекта и пройденном пути, передаваемая от бортового навигационно-связного оборудования в диспетчерские пункты и центры.

**Телематический сервер (телематическая платформа)** — элемент системы диспетчерского управления, предназначенный для сбора, обработки, хранения и маршрутизации мониторинговой информации от абонентских телематических терминалов в диспетчерские пункты и центры, а также обмена технологической информацией между диспетчерскими центрами (пунктами) и абонентскими телематическими терминалами.

**Точка доступа** - средство коллективного доступа, предназначенное для предоставления неограниченному кругу лиц возможности пользования услугами связи по передаче данных и предоставлению доступа к информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" с использованием пользовательского оборудования абонента.

**Трафик** - нагрузка, создаваемая потоком вызовов, сообщений и сигналов, поступающих на средства связи.

**Услуга связи** - деятельность по приему, обработке, хранению, передаче, доставке сообщений электросвязи или почтовых отправлений.

**Хайп-цикл Гартнера (Gartner Hype Cycle)** – графическое отображение процессов становления и развития технологий и инновационных трендов, используемое для описания и оценки тех или иных тенденций, связанных с возникновением общественного интереса к новым технологическим решениям. S-образная кривая является основой методологии, разработанной американской компанией Gartner, Inc., специализирующейся на исследованиях рынка информационных технологий.

**Экстренный вызов** - действия, предпринимаемые автомобильной системой вызова экстренных оперативных служб по осуществлению телефонного вызова на единый номер "112" с установленным признаком экстренного вызова из транспортного средства.

**Электросвязь** - любые излучение, передача или прием знаков, сигналов, голосовой информации, письменного текста, изображений, звуков или сообщений любого рода по радиосистеме, проводной, оптической и другим электромагнитным системам.

**Электромагнитная совместимость** - способность радиоэлектронных средств и (или) высокочастотных устройств функционировать с установленным качеством в окружающей электромагнитной обстановке и не создавать недопустимые радиопомехи другим радиоэлектронным средствам и (или) высокочастотным устройствам.

Раздел ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ составлен в соответствии с текущим законодательством РФ и ГОСТ, а также актуальными источниками информации: [1-6].

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АТ – абонентский терминал

БДД – безопасность дорожного движения

ВКР – Всемирная конференция радиосвязи

ВЧУ – высокочастотные устройства

ИТС – интеллектуальная транспортная система

ИКТ – информационно-телекоммуникационные технологии

ИИ – искусственный интеллект

ИК – исследовательская комиссия

ИТ – информационная технология

ИТТ РАЕН – Отделение информационных и телекоммуникационных технологий при Российской академии естественных наук

ГКРЧ – Государственная комиссия по радиочастотам

ООН – Организация Объединённых Наций

ОГ – оперативная группа

ПО – программное обеспечение

РГ – рабочая группа

РЭС – радиоэлектронные средства

СДЭ – сеть документальной электросвязи

СПС – сеть подвижной связи

СТК – Совместный технический комитет

ТФОП – телефонная сеть общего доступа

ТК – технический комитет

ТС – транспортное средство

3GPP – Third Generation Partnership Project

5GIC – 5G Innovation Centre

ATIS – Alliance for Telecommunications Industry Solutions

ANSI – American National Standards Institute

AMPS – Advanced Mobile Phone Service

ARIB – Association of Radio Industries and Business

BSI – British Standards Institution

CCAM – Cooperative, Connected and Automated Mobility

CCIR – International Radio Consultative Committee

CCITT – Consultative Committee for International Telephone and Telegraphy

CCSA – China Communications Standards Association/China

CEN – Comite Europeen de Normalisation

CENELEC – European Committee for Electrotechnical Standardization

CEPT – Conference of European Postal and Telecommunication administrations

C-ITS – Cooperative Intelligent Transport Systems

CT-2 – Cordless Telephony-2

DECT – Digital Enhanced Cordless Telecommunications

DSRC – Dedicated Short Range Communications

DTM – Delay & Disruption Tolerant Networking

E2E – End-to-End

EIA – Electronics Industries Association

eMBB – enhanced Mobile Broadband

eSIM – Embedded SIM

eUICC – Embedded Universal Integrated Circuit Card

ESO – European Standardization Organizations

ETSI – European Telecommunications Standards Institute

EU – European Union

FCD – Floating Car Data

FG – Focus Group

FG-ML5G – Focus Group on Machine Learning for Future Networks

FS – Fixed Service

FMC – Fixed-Mobile Convergence

FMS – Fixed-Mobile Substitution

GMPCS – Global Mobile Personal Communication Systems

GPS – Global Positioning System

GSM – Global System for Mobile Communications

IEC – International Electrotechnical Commission

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IFRB – International Frequency Registration Board

IMT-2000 – International Mobile Telecommunications-2000

IEEE-SA – Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association

IoT – Internet of Things

IP – Internet Protocol

ISO – International Organization for Standardization

ITC – Intelligent Transport Systems

ITU – International Telecommunications Union

ITU-D – ITU Telecommunication Development Sector

ITU-R – ITU Radiocommunication Sector

ITU-T – ITU Telecommunication Standardization Sector

JESA – Japanese Engineering Standards Association

KATS – Korean Agency for Technology and Standards

LLC – Logical Link Control

LPWAN – Low Power Wide Area Network)

LPWPAN – Low Power Wireless Personal Area Network

LTE – Long-Term Evolution

MIB – Management Information Base

METIS – Mobile and wireless communications Enablers

for the Twenty-twenty Information Society

ML – Machine Learning

mMTC – massive Machine Type Communications

M2M – Machine-to-Machine

MSG – Mobile Standard Group

MTC – Machine Type Communication

mWT – millimetre Wave Transmission

NB-Fi – Narrow Band Fidelity

NFV – Network Functions Virtualization

NGP – Next Generation Protocols

NG-RAN – New Generation  Radio Access Network

NMT – Nordic Mobile Telephone

NR – New Radio

OBU – On-Board Units

OFDM –Orthogonal Frequency Division Multiplexing

oneM2M – one Machine-to-Machine

OSI – Open Systems Interconnection

PCG – Project Coordination Group

POCSAG – Post Office Code Standardization Advisory Group

QoS – Quality of Service

RIT – Radio Interface Technology

RAN – Radio Access Network

RSU – Road-side Unit

SAE – Society of Automotive Engineers

SAREF –The Smart Appliances Reference Ontology

SC – Single Carrier

SC – Subcommittee

SIM – Subscriber Identification Module

SmartBAN – Smart Body Area Network

SmartM2M – Smart Machine-to-Machine Communications

SRIT – Set of Radio Interface Technology

STF – Specialist Task Force

TAICS – Taiwan Association of Information and Communication Standards

TDB – Telecommunication Development Bureau

TDD – Time Division Duplexing

TDMA – Time Division Multiple Access

TTA – Telecommunication Technology Association

TIA – Telecommunications Industry Association

TTC – Telecommunications Technology Committee

TETRA – Trans European Trunked Radio

TR – Technical Reports

TS – Technical Specifications

TSAG – Telecommunication Standardization Advisory Group

TSG – Technical Specifications Group

UE – User Equipment

URLLC – Ultra-Reliable and Low Latency Communications

V2X – Cellular Vehicle-to-Everything

V2X – Vehicle-to-Everything

V2G – Vehicle-to-Grid

V2I – Vehicle-to-Infrastructure

V2P – Vehicle-to-Pedestrian

V2V – Vehicle-to-Vehicle

WSMP – WAVE Short Message Protocol,

WG – Working Group

WAVE –Wireless Access in Vehicular Environments

# ВВЕДЕНИЕ

Основной целью реализации дорожной карты Национальной технологической инициативы «Автонет» (ДК НТИ «Автонет») является создание условий для развития рынков «Автонет», увеличение конкурентоспособности, инновационного и экспортного потенциалов Российской Федерации в приоритетных сегментах рынка «Автонет» [7]. Одним из принципиальных объектов рассмотрения данных сегментов являются технологии связи.

Целью данного аналитического исследования является изучение состояния и перспектив развития рынка технологий связи (технологии «ITS-G5/DSRC», технологии «LTE-V2X»), сети и оборудование передачи данных технологии «IoT» (технология «интернета вещей»), управление мобильными подписками многопрофильных сим-карт (технология «eUICC»), технологии мобильной передачи данных, персональная спутниковая связь, технология «Bluetooth Low Energy» и пр.), оценка влияния на развитие российского и международного рынка «Автонет».

Исходя из поставленной цели исследования, были определены следующие задачи:

1. определение и классификация беспроводных сетей;
2. описание процесса стандартизации в области беспроводных сетей;
3. выявление основных технологий беспроводных сетей;
4. анализ и оценка мирового рынка технологий связи;
5. анализ и оценка российского рынка технологий связи;
6. оценка глобальных тенденций, оказывающих влияние на развитие международного и национального рынка «Автонет»;

# ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

## Выводы к Главе 1:
## «Назначение беспроводных сетей»

1. Беспроводные сети базируются на совокупности двух групп технологий – беспроводной передачи информации и сетевого взаимодействия. Основное преимущество беспроводной передачи информации заключается в отсутствии необходимости прокладки проводов. Это существенно снижает время на организацию сети и затраты на монтаж.
2. С момента своего появления беспроводные связи непрерывно эволюционируют. Возможности, которые предоставляют беспроводные технологии, уже давно вышли за рамки голосовых услуг, получены новые способы обмена данными, в частности через сеть Интернет.
3. С развитием беспроводных сетей и их адаптацией к новым типам устройств и услуг – от интеллектуальных электросчетчиков, автомобилей и бытовых приборов до промышленных объектов – к этим сетям постоянно выдвигаются новые и самые разнообразные требования. Поэтому подход «одна технология для всех» не может быть эффективным для удовлетворения растущего числа потребностей со стороны бизнеса, общества и отдельных пользователей.
4. Благодаря передаче данных с датчиков, граничных и «умных» устройств в интернет появляется возможность подсоединить простейшие устройства к облачным сервисам. По мере развития облачных технологий беспроводные системы связи стали повсеместными, а модели машинного обучения (M2M) нашли новые направления применения в области интернета вещей (IoT).
5. Одним из вариантов подключения пользователей к беспроводным сетям является использование многопрофильных СИМ-карт, в которые предустановлены или загружены профили операторов связи, выбираемые

либо посредством мобильного приложения или удаленно. Основным преимуществом многопрофильных СИМ-карт является простая настройка устройства без необходимости вставлять или заменять СИМ-карту.

6. На текущий момент не существует единой классификации беспроводных сетей. Обычно классификация выполняется по конкретным признакам, в качестве которых используется: вид передаваемых данных, способ обработки входных данных, ширина полосы передачи, локализация абонентов, географическая протяженность, диапазон частот, топология и область применения.
7. Существует достаточно обширная область применения беспроводных сетей. Исключительной важностью обладают технологии беспроводной передачи данных на транспорте. Это связано, прежде всего, с тем, что их применение позволяет существенно повысить безопасность, экономичность, комфортность поездок и перевозок.
8. Рассмотрев многочисленные стандарты в области беспроводной связи, можно утверждать о перспективности развития технологий 5G, интернета вещей (IoT) и интеллектуальных транспортных систем (ИТС).
9. Основные тенденции, которые определяют будущие формы и содержание беспроводных сетей, это: повсеместная «цифровизация», модернизация сетей сотовой связи, стремительное развитие интернета вещей (IoT), конвергенция услуг и процессов.

## Выводы к Главе 2:
## «Обзор технологий беспроводных сетей»

1. Наиболее распространённым признаком классификации беспроводных сетей является их географическая протяженность. В зависимости от дальности действия, беспроводные сети подразделяют на персональные, локальные, региональные и глобальные сети.
2. К беспроводным персональным сетям относятся Bluetooth и ZigBee. Основное преимущество технологии (стандарта) Bluetooth заключается в

его высоком уровне стандартизации и широчайшем распространении в составе пользовательских электронных устройств. Это позволяет в ряде случаев практически в два раза сэкономить время и затраты на разработку при проектировании некоторой системы сбора данных, телеметрии или управления. Стандарт ZigBee предназначен для радиочастотных устройств, требующих гарантированную безопасную передачу данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания.

3. Достаточно быстро развиваются беспроводные локальные сети, обладающие высокой надежностью, помехоустойчивостью и защищенностью. Чаще всего подобные сети строят на базе стандарта Wi-Fi – технологии беспроводной связи, характеризующейся высокой скоростью передачи данных. К достоинствам технологии относят: высокий уровень стандартизации, высокую скорость передачи данных, большое разнообразие модулей связи. Недостатками технологии считаются большое энергопотребление и высокая цена оборудования.
4. Беспроводные городские сети являются логичным развитием беспроводных локальных сетей, обеспечивающих более высокие скорости передачи данных и более широкую область покрытия. Примером технологии является WiMAX.
5. В беспроводных глобальных сетях для передачи данных используются беспроводные технологии сотовой связи, которые обеспечивают работу мобильных приложений, доступ пользователей к интернету или передачу и прием сообщений электронной почты. Технологии сотовой связи рассматривают на примере развития поколений сетей, эволюция которых, прежде всего, выражена в наращивании производительности и увеличении возможностей сетей. Интеграция уже существующих и новых технологий будет способствовать появлению целого ряда новых

услуг. В долгосрочной перспективе - выгодам, которые будут доступны благодаря технологиям 5G.

6. Энергоэффективные сети дальнего радиуса действия разработаны для межмашинного взаимодействия (M2M) и интернета вещей (IoT), являются одним из типов беспроводных сетей, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счётчиков и сенсоров. Примерами технологий являются NB-IoT, LoRa, Sigfox. Особенностями технологий приходятся: низкая скорость передачи данных, высокая задержка сигнала, низкая пропускная способность.
7. Успехи в области разработки технологии DSRC присущи США, Европе и Японии. В США развивается стандарт WAVE, в ЕС – ITS-G5. Японский стандарт отличается тем, что он используется только для взаимодействия автомобилей с придорожным оборудованием. Все технологии DSRC основаны на Wi-Fi и имеют обратную совместимость с предыдущими стандартами, разрабатываемыми IEEE.
8. LTE-V2X – текущий вариант спецификаций для C-V2X. На ранней стадии развития находится спецификация 5G NR-V2X. Разработку релизов сотовых технологий координирует 3GPP. Отличительными особенностями C-V2X от DSRC является отсутствие обратной совместимости стандартов 3GPP. Для масштабного внедрения C-V2X также необходимо провести большое число испытаний и тестов, в то время как технология DSRC уже давно себя зарекомендовала. Провайдеры и разработчики оборудования могут планировать работу с DSRC технологиями на долгосрочной основе.
9. Стандарт eSIM - это перспективная технология, которая в итоге может заменить существующие физические СИМ-карты.
10. Анализ технологических индикаторов рынка «Автонет» показал, что наиболее привлекательными для внедрения на рынке были системы

управления мобильными подписками, в то время как технологии связи LTE-V2X оказались не столь популярными в 2019.

## Выводы к Главе 3:
## «Состояние и перспективы развития мирового рынка технологий беспроводной связи»

1. Инфраструктурным базисом цифровой экономики России и мира будут сети связи новых поколений, а в сегменте сотовой связи – сети на основе технологий мобильной связи пятого поколения как наиболее соответствующие вызовам цифровой экономики и возможностям трансформации производственных бизнес-процессов на основе сквозных технологий.
2. По прогнозам, число соединений 5G в мире в конце 2020 г. составит 1% от общего числа подключений, после чего внедрение 5G ускорится, и доля достигнет 16% к концу 2025 г. К этому времени число 5G подключений будет составлять 1,4 млрд. На региональном уровне, Северная Америка достигнет наибольшего уровня проникновения 5G на рынок, при этом учитывается, что почти половина соединений будет иметь доступ к услугам 5G к 2025 г.
3. Начиная с 2014 г. прогнозы аналитиков по темпам роста рынка IoT несколько снизились из-за не оправдавшихся по ряду направлений ожиданий, таких как быстрое введение новых стандартов, обеспечением требуемого уровня безопасности и конфиденциальности. Соответственно, новые прогнозы роста оказались более консервативными: технологии, обеспечивающие работу интернета вещей, развиваются не так быстро. В отраслевом разрезе рост рынка IoT будет обеспечен такими сегментами, как дискретное производство, транспорт, ЖКХ, потребительский сегмент и страхование. Также будут развиваться такие межотраслевые направления, как «Умный город» и «Подключенная Промышленность». Интернет вещей будет наиболее активно использоваться для

предиктивного обслуживания, автоматической оптимизации производства, V2X. В географическом разрезе главным трендом является укрепление позиций Азиатско-Тихоокеанского региона во главе с Китаем.

4. В автомобильной среде активно внедряются стандарты связи ITS-G5/DCRS и C-V2X. Многие страны ведут испытания соответствующих технологий. Между компаниями наблюдается высокий уровень конкуренции. Данные проекты помогут улучшить безопасность на дорогах и управление трафиком в городах.
5. В настоящее время глобальный рынок многопрофильных СИМ-карт только зарождается и будет активно развиваться в ближайшие годы. В 2017 г. общий объем рынка многопрофильных СИМ-карт оценивался в 179,6 млн. долл. Основными драйверами роста рынка эксперты называют возможность реализации технологии M2M, а также внедрение IoT. Лидерами потребления технологии многопрофильных СИМ-карт до 2023 г. будут северо-американский, европейский и азиатский регионы.
6. Ожидается, что в ближайшие несколько лет автомобильная отрасль станет одной из наиболее перспективных областей применения многопрофильных СИМ-карт, предоставляя поставщикам на рынке возможности для роста. В 2018 г. по всему миру было выпущено 364 млн. устройств (в том числе автомобилей) с поддержкой технологии eSIM, что на 63% больше, чем годом ранее. По итогам 2018 г. крупнейшими производителями чипов eSIM были компании Gemalto, Giesecke+Devrient и STMicroelectronics.

## Выводы к Главе 4:
## «Состояние и перспективы развития российского рынка технологий беспроводной связи»

1. На сегодняшний день Россия является относительно зрелым рынком мобильной сотовой связи с показателем проникновения для уникальных абонентов – 89% на конец 2018 г. Эта цифра останется практически

неизменной до 2025г. Российские пользователи мобильной связи уже потребляют значительные объемы мобильного трафика, которые будут продолжать расти по мере роста популярности смартфонов. Благодаря значительным инвестициям операторов в сети LTE в стране наблюдается быстрый переход на технологии 4G. В течение следующих пяти лет доля 4G-подключений увеличится более чем вдвое и достигнет двух третей от общего количества к 2023 г.

2. Стабилизация конкурентной обстановки и продолжающийся быстрый рост объемов трафика способствуют увеличению доходов на российском рынке в краткосрочной перспективе, но среднесрочные прогнозы остаются сдержанными. Средний доход на пользователя в месяц остается низким по меркам развитых рынков, подчеркивая необходимость для операторов в развитии новых источников дохода. 5G принесет новые возможности как на потребительском, так и на корпоративном рынках, а также снизит эксплуатационные расходы. Оба этих фактора потенциально являются критически важными для российских операторов, которые стремятся улучшить свои финансовые показатели.
3. Хотя Россия не входит в число стран первой волны запусков 5G, телекоммуникационные компании и имеющие отношение к этой сфере политики все больше осознают важность данной технологии как для отрасли связи, так и для экономики в целом. По прогнозам, первые коммерческие сети 5G в России появятся в 2020 г., причем к 2025 г. число соединений 5G достигнет 46 млн., что будет составлять 20% от общего числа подключений. Согласно этому прогнозу, показатели роста в России превысят среднемировой уровень, но при этом будут ниже уровня ведущих рынков 5G — США, Южной Кореи и Китая.
4. Технологии 5G рассматриваются в России как необходимое условие для создания новой, более конкурентоспособной национальной экономики. Регулирующие органы должны рассматривать 5G не только как новое техническое достижение в области телекоммуникаций, но и как одно из

условий для формирования цифровой экономики и стимулирования трансформации различных отраслей. Учитывая это, необходимо перейти от регулирования отрасли мобильной связи к стимулированию ее развития. Наличие комплексного государственного плана развития сетей связи 5G является ключевым фактором успеха запуска и эксплуатации сетей пятого поколения.

5. Оценки российского рынка интернета вещей (IoT) неоднозначны. Разные анализические компании дают разные оценки рынка. Например, компания J&P оценила объем рынка IoT в 1 млрд. долл. По данным компании IDC, объем российского рынка составил 4 млрд. долл. в 2018 г. Основными драйверами российского рынка IoT являются цифровая трансформация компаний, создание экосистемы и рост взаимодействия поставщиков решений, а также государственная поддержка. Положительное влияние на динамику рынка оказали первые успешные проекты, посвященные интеграции решений интернета вещей с существующими ИТ-системами.
6. Нет единого мнения экспертов по поводу структуры российского рынка интернета вещей. Например, оценки доли промышленного интернета вещей варьируются от 20% до 95%. В отраслевом разрезе, по данным IDC за 2016 г., половина рынка IoT приходилась на производство, транспорт, а также объединенный сегмент «телекоммуникации и энергетика». Для производства основным сценарием было управление ресурсами, для транспорта — управление транспортными средствами, мониторинг.
7. Начинает развертываться государственная поддержка технологий IoT. Утверждена «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы», принята государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», образуются центры компетенций НТИ, разрабатываются дорожные карты интернета вещей. При этом на российском рынке есть ряд компаний, самостоятельно разрабатывающие уникальные решения в области IoT. К ведущим разработчикам относятся: Вавиот, Goodwin, Thingenix и «Вега Абсолют».

8. Из-за ограничений действующего законодательства использование многопрофильных СИМ-карт в РФ является не актуальным на текущий момент. Однако при внесении изменений в законодательство РФ, технология eSIM позволит операторам существенно снизить расходы на распространение и активацию SIM-карт, а также увеличить доходы от роуминга. Кроме того, eSIM предлагает значительные преимущества для потребителей и корпоративных клиентов, позволяя легко выбирать, активировать, подключать и управлять подключениями на устройствах.
9. В России идет становление стандартов в области V2X. Наиболее подходящими стандарами являются ITS-G5 или C-V2X. На полигоне ФГУП «НАМИ» проходят испытания соответствующих технологий. Для реализации создания пилотной зоны организован проектный консорциум компаний, заинтересованных в тестировании технологий V2X.

**Выводы к Главе 5:**

**«Оценка влияния рынка беспроводных технологий на развитие российского и международного рынка «Автонет»**

1. Важнейшим трендом развития рынка «Автонет» является рост уровня «подключаемости» транспортных средств. Ожидается, что к 2025 г. количество подключенных к сети транспортных средств на дорогах Европы, США и Китая превысит 470 млн.
2. С каждым годом все больше автомобилей оснащается беспроводными средствами связи, позволяющими передавать информацию о дорожной обстановке другим автомобилям и объектам инфраструктуры. Эксперты сходятся во мнении, что через пять лет около 67 млн. автомобилей будут использовать сервисы 5G.
3. Многопрофильные СИМ-карты применяются в качестве инструмента для доступа к большому количеству разнообразных интернет-сервисов, связи с экстренными службами, страховой телематике, поисковым и охранным сервисам на транспортных средствах.

# МЕТОДОЛОГИЯ

В ходе проведения исследовательской работы на тему: «Исследование состояния и перспектив развития рынка технологий связи (технологии «ITS-G5/DSRC», технологии «LTE-V2X»), сети и оборудование передачи данных технологии «IoT» (технология «интернета вещей»), управление мобильными подписками многопрофильных сим-карт (технология «eUICC»), технологии мобильной передачи данных, персональная спутниковая связь, технология «Bluetooth Low Energy» и пр.), оценка влияния на развитие российского и международного рынка «Автонет»:

1. Были проанализированы следующие источники информации:
    - материалы исследований крупнейших консалтинговых компаний,
    - специализированные обзоры компаний, занимающихся маркетинговыми исследованиями,
    - аналитические и деловые статьи, опубликованные в ведущих зарубежных и отечественных изданиях,
    - научные статьи, опубликованные в ведущих зарубежных и отечественных изданиях,
    - фундаментальные научные труды и монографии зарубежных и российских ученых,
    - учебные пособия, курсы лекций, раздаточные материалы, выпущенные ведущими зарубежными и российскими высшими учебными заведениями.
    - презентационные материалы отраслевых форумов / конференций / семинаров,
    - статистические данные, предоставляемые профильными ведомствами / институтами / агентствами,
    - годовые отчёты компаний,
    - другие источники.

2. В качестве базовых материалов были использованы работы следующих авторов: Дежина И.Г., Евстигнеев И.А., Ли П., Тихвинский В.О., Шахнович И. В., Ярцев С.В. В основу данной исследовательской работы также были положены материалы следующих аналитических компаний: Ericsson и GSM Association.
3. Были использованы следующие вспомогательные методологии:
   - при определении технологических индикаторов рынка технологий связи был использован подход компании Gartner, специализирующейся на исследованиях рынка информационных технологий, а также информация, содержащаяся в базах данных CrunchBase и AngelList.

# ГЛАВА 1. Назначение беспроводных сетей

## 1.1 Общие сведения о беспроводных сетях

Беспроводная связь появилась в конце XIX – начале XX века, когда уровень развития микроэлектроники позволил выпускать массовые дешевые средства беспроводной связи [1]. Со временем беспроводные сети получили значительное распространение, возникли новые типы пользовательских устройств – смартфоны. Возможности, которые сегодня предоставляют беспроводные технологии, уже давно вышли за рамки голосовых услуг: получены новые способы общения и обмена данными. Неудивительно, что распространение мобильных устройств привело к значительному росту трафика в сетях по всему миру. Однако это только начало той революции, которую приближает активное развитие технологий, служащих основой «цифровой трансформации» общества, а именно, глубоких и всесторонних изменений в производственных и социальных процессах, связанных с тотальной заменой аналоговых технических систем цифровыми и с широкомасштабным применением цифровых технологий [9, 10, 11].

Выделяют три волны «цифровой трансформации» [5]:

- Первая волна цифровой трансформации (1960–1970 гг.) позволила внедрить цифровизацию и автоматизацию отдельных видов деятельности в цепочку создания продуктов и услуг и подняться до уровня автоматизированного компьютерного проектирования и планирования проектов.
- Вторая волна цифровой трансформации (1980-1990 гг.) обеспечила переход к интеллектуальным производствам и глобально интегрированным цепочкам поставок благодаря распространению интернета и компьютерных технологий.
- Третья волна цифровой трансформации (2000-2010 гг.) привела к преобразованию всех производственных и социальных систем в киберфизические системы в результате смены «информационной

революции» (1960-1990 гг.) «интеллектуальной революцией» и дала начало переходу к глобальному интернету вещей (Internet of Things, IoT).

Сегодня мы находимся на этапе четвертой промышленной революции («Индустрия 4.0»), основу которой образуют информационно телекоммуникационные технологии (ИКТ) и искусственный интеллект (ИИ) (см. Рис. 1). Начиная с 2000-х гг. свыше 100 государств (большинство индустриально развитых и многие развивающиеся страны мира) приняли решение о построении «цифровой экономики». Под проекты цифровизации были утверждены планы развития ИКТ-сетей [5].

Рис. 1 – Эволюция форм общественного производства

Источник: Бутенко В., Веерпалу В., Девяткин Е., Федоров Ф. Сети 5G/IMT-2020 & IoT – основа цифровой трансформации / Электросвязь. – 2018. – №12. – С. 4-9 [12].

Основным элементом ИКТ являются различные сети передачи данных. К началу XXI века существовали три отдельных сети элекотосвязи: телефонная сеть общего доступа (ТфОП), сеть подвижной связи (СПС) и сеть документальной электросвязи (СДЭ) – три разных объекта. В начале

текущего столетия началось сближение трех раздельных сетей. Такой процесс называют *конвергенцией*. Определения, которые были предложены Международным союзом по электросвязи ITU (International Telecommunications Union) для терминов «конвергентная сеть» и «конвергентные услуги», позволяют сделать вывод, что речь идет о процессах объединения сетей. Данный процесс отражен на Рис. 2.

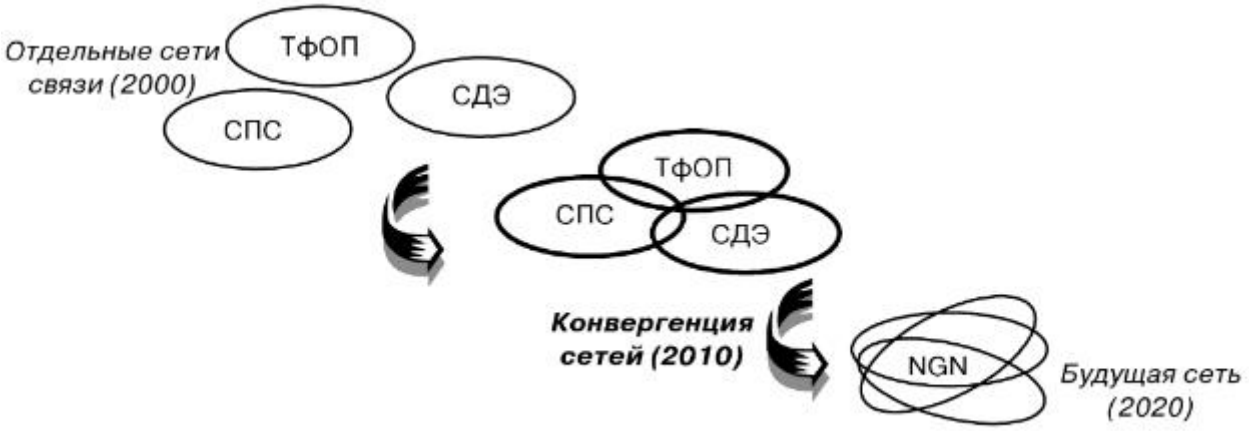



Рис. 2 – Этапы эволюции сетей электросвязи

Источник: Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов / – Спб.: БХВ-Петербург, 2014. – 400 с. [13].

Сокращение: ТфОП – телефонная сеть общего доступа,
СПС – сеть подвижной связи,
СДЭ – сеть документальной электросвязи,
NGN – Next Generation Network

Результатом процесса конвергенции электросвязи станет практически полное объединение сетей, которые служат современными примерами законов развития больших и сложных систем. Все это является подтверждением того, что настала эпоха цифровой связи. Благодаря цифровой обработке все теснее переплелись развивавшиеся параллельно технологии телефонии и передачи данных, чтобы с появлением пакетных сетей слиться практически воедино. Появился термин «мультимедиа», означающий объединение самых различных ИКТ (голое, аудио/видео, данные) в единой технологической среде обработки и передачи данных.

Наиболее популярными в рамках ИКТ считаются технологии, имеющие отношение к сетям подвижной связи (СПС). Несмотря на свою относительную молодость, СПС проникли во многие сферы деятельности,

включая экономику, науку, культуру, образование, промышленность. Их влияние на современное постиндустриальное общество трудно переоценить. Без существующих технологий СПС невозможны столь привычные сегодня электронная почта, телефонная связь, доступ к удаленным базам данных, службы новостей, дистанционное обучение и т.д. [14].

Наряду с этим революционным влиянием СПС имеет место еще две тенденции, определяющие ближайшее будущее ИКТ – конвергенция фиксированных и мобильных сетей (Fixed-Mobile Convergence, FMC), а в дальнейшем, возможно, и замена фиксированных сетей сетями подвижной связи (Fixed-Mobile Substitution, FMS).

Отличительными характеристиками всего класса систем подвижной радиосвязи является мобильность хотя бы одного из абонентов и отсутствие проводного соединения между абонентским терминалом и коммутационным оборудованием сети связи. Сам класс систем современной радиосвязи весьма широк. Помимо сетей подвижной связи в этот класс также входят следующие системы [13, 15, 16, 17]:

- *Бесшнуровые телефонные системы*, которые вместо проводов между телефонным аппаратом и трубкой используют радиоканал, сохраняя функциональные возможности и качество связи обычного проводного телефона. Зона радиопокрытия базовой станции в силу малой мощности последней ограничивается пространством офиса или квартиры. Наиболее известным стандартом беспроводной телефонии является разработанная Европейским институтом стандартизации в области телекоммуникаций ETSI (European Telecommunications Standards Institute) цифровая усовершенствованная беспроводная связь DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), сменившая беспроводные телефоны второго поколения CT-2 (Cordless Telephony-2).

- *Пейджинговые системы*, официально называемые системами персонального радиовызова, обеспечивают одностороннюю связь от центральной базовой станции к мобильному абонентскому пейджеру, куда та пересылает адресованные владельцу этого пейджера сообщения. Сообщение имеет вид последовательности буквенно-цифровых символов. В настоящее время пейджинговые системы работают по двум основным стандартам: POCSAG (Post Office Code Standardization Advisory Group) и FLEX.
- *Транкинговые системы* предназначены для телекоммуникац. систем на крупных предприятиях. Важные области применения транкинговых систем подвижной связи – корпоративные и ведомственные сети. Основная идея транкинговых систем состоит в следующем: при наличии в системе радиосвязи определенного количества каналов любой свободный канал может быть назначен для установления нового соединения и будет немедленно включен в общее количество после завершения соединения. Таким образом, в тракинговой системе предусматривается определенное количество радиоканалов для всех пользователей. Действующими транкинговыми системами являются SmarTrunk, MPT 1327 и TETRA.

  Цифровые транкинговые системы TETRA (Trans European Trunked Radio) стандартизованы ETSI в начале 90-х гг. Они предусматривают передачу как речи, так и данных, обеспечивая более высокую спектральную эффективность по сравнению с аналоговыми транкинговыми системами, лучшее использование частот, более высокую скорость передачи данных, цифровое кодирование речи с возможностью шифрования. TETRA позволяет коммутировать каналы и пакеты, передавать короткие

сообщения, получать доступ в Интернет, поддерживать услуги телеметрии, передачу данных и видеоинформации.

- *Системы спутниковой связи* используются в аэрокосмических технологиях, для определения местоположения объекта геодезической съемки, а также коммуникации между подвижными абонентами. Такие системы позволяют обеспечить связью обширные регионы с низкой плотностью населения, в которых создание наземных сотовых систем подвижной связи является экономически неоправданным. Высокая актуальность создания и внедрения систем глобальной подвижной персональной связи GMPCS (Global Mobile Personal Communication Systems) привела к необходимости разработки в рамках ITU общих принципов международной регламентации применения таких систем. Был предложен ряд международных и национальных проектов создания подобных систем, построенных на основе спутников связи. Самыми известными среди систем персональной спутниковой связи являются: Globalstar, Inmarsat, Iridium, Гонец.
- *Системы беспроводного доступа* применяются для реализации подключения к компьютерным сетям. Зона покрытия такой системы и мобильность пользователя весьма ограничены. Характерным примером данных систем является технология Bluetooth, обеспечивающая беспроводную связь между портативными радиоэлектронными устройствами, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга.
- *Системы сотовой связи* разработаны для поддержки мобильности абонентов и для увеличения пропускной способности радиотелефонии путем использования нескольких передатчиков приемников ограниченной мощности и

ограниченного радиуса действия, но с многократным использованием частот. Существует достаточно большое разнообразие систем сотовой связи, поэтому обычно их представляют в виде поколений (1G-5G).

Все системы радиосвязи рассматриваются, прежде всего, как средства развертывания стационарных беспроводных локальных и мобильных сетей, и как средства оперативного доступа в сети Интернет. Беспроводные сети позволяют предоставить подключение пользователей там, где затруднено кабельное подключение и необходима полная мобильность.

Одним из вариантов подключения пользователей к беспроводным сетям является использование многопрофильной СИМ-карты или, иначе говоря, встроенной универсальной интегральной платы eUICC (Embedded Universal Integrated Circuit Card), часто именуемой eSIM (Embedded SIM). В eSIM предустановлены или загружены профили операторов связи, выбираемые либо посредством мобильного приложения или удаленно. Основным преимуществом eSIM является простая настройка устройства без необходимости вставлять или заменять СИМ-карту [18].

Таким образом**, *отличительными особенностями*** беспроводных сетей являются [19, 20]:

- гибкость архитектуры, т.е. возможности динамического изменения топологии сети при подключении, передвижении и отключении мобильных пользователей без значительных потерь времени;
- простота подключения к проводной сети;
- высокая скорость передачи данных (1 - 10 Мбит/с и выше);
- высокая скорость доступа в Интернет;
- быстрота проектирования и развертывания;
- высокая степень защиты от несанкционированного доступа;

- отказ от дорогостоящей и не всегда возможной прокладки или аренды оптоволоконного или медного кабеля.

***Недостатки*** беспроводных сетей:

- зависимость реальной скорости передачи данных от количества преград на пути сигнала, числа подключенных к сети компьютеров, особенностей построения пакетов данных (большого объема служебных данных), удаленности компьютеров;
- низкая помехоустойчивость;
- неопределенность зоны покрытия;
- проблема «скрытого терминала»;
- высокий уровень расхода энергии;
- несовместимость оборудования.

Как было отмечено ранее, беспроводные сети получили значительное распространение, в частности, используются на транспорте.

**Применение беспроводных сетей на автомобильном транспорте**

В настоящее время возможности связи обеспечивают потенциал, позволяющий автомобилям прогнозировать столкновения и предотвращать их, прокладывать самый быстрый путь к своему пункту назначения, пользоваться передаваемыми в режиме реального времени сообщениями о дорожной обстановке, определять ближайшее свободное место для парковки, в максимальной степени уменьшать выбросы углерода и поддерживать мультимедийную связь. Все эти задачи выполняет интеллектуальная транспортная система (ИТС) – система, интегрирующая современные информационные, коммуникационные и телематические технологии, технологии управления и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортной системой региона, конкретным транспортным средством или

группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта [21, 22].

В силу своей комплексности и охвата множества направлений транспортной деятельности развитие ИТС способствует решению самых различных проблем, характерных для транспортных систем в современных условиях. Классические ИТС позволяют быстро выявлять ситуации, которые могут привести к затору, возникновению небезопасных условий, снижению мобильности, а затем помогают реализовать соответствующие стратегии и планы для ослабления последствий этих проблем, уменьшения их продолжительности и воздействия на передвижение. Крайне важным является переход от классических автоматизированных систем к системам, обладающим искусственным интеллектом. Широкий круг прикладных задач ИТС связан сегодня с концепцией развития кооперативных систем.

За последние годы акцент в ИТС обратился именно в сторону нового поколения – кооперативных систем (Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS), в которых транспортные средства взаимодействуют друг с другом и/или с инфраструктурой. Именно кооперативные ИТС позволяют значительно увеличить качество и надежность информации, доступной о транспортных средствах, их расположении и дорожной среде. Создается серьезный потенциал для передвижения транспортного средства в реальных транспортных условиях без участия человека. Пока современный автомобиль остается средством передвижения повышенной опасности, управляемым в ручном режиме человеком. Однако постепенно это меняется, появилось уже совсем новое инновационное направление. Суть данного направления – реализация клиентоориентированного подхода: технологии ИТС развиваются в сторону работы с отдельным водителем (автомобилем),а не с транспортным потоком, как это осуществляется в настоящее время [23].

Кооперативные ИТС строятся на основе систем связи [24]:

- автомобиль-автомобиль (vehicle-to-vehicle, V2V) – с помощью беспроводной связи два автомобиля смогут обмениваться информацией о состоянии на дорогах;
- автомобиль-инфраструктура (vehicle-to-infrastructure, V2I) – происходит обмен данных с объектами инфраструктуры – светофорами, дорожной разметкой, знаками и т.д.;
- автомобиль-пешеход (vehicle-to-pedestrian, V2P) – через излучаемые от смартфона, которым пользуется пешеход, радиоволны, автомобиль сможет оценить близость и скорость пешехода и, в случае опасности, подаст сигнал пешеходу и водителю;
- автомобиль-электросеть (vehicle-to-grid, V2G) – система, которая позволяет подключать автомобили для подзарядки;
- автомобиль - устройство (vehicle-to-device, V2D) – позволяет производить обмен информацией между любыми электронными устройствами, подключенными к автомобилю.

Чаще всего в контексте ИТС рассматриваются технологии V2V и V2I, которые обозначают, как правило, V2X (vehicle-to-everything).

Цель кооперативных ИТС – помочь водителям поддерживать безопасную скорость и дистанцию, осуществлять перестроения, избегать обгона в критических ситуациях и безопасно проходить дорожные пересечения.

Задача кооперативных ИТС – возможность выявлять потенциальные риски именно в режиме реального времени. Это, безусловно, окажет положительное влияние на безопасность и организацию дорожного движения. Условно услуги, оказываемые кооперативными ИТС, можно разделить на семь категорий [23]:

- помощь для безопасного вождения;
- управление транспортным потоком, сглаживание потока движения;

- повышение комфорта посредством использования информационных технологий;
- реагирование на инциденты и чрезвычайные дорожные ситуации;
- улучшение состояния окружающей среды;
- поддержка экономической деятельности, создание рынка для частных услуг;
- поддержка деятельности дорожных властей и дорожных операторов как руководителей транспортных и сетевых операторов.

Успешная реализация поставленных перед кооперативными ИТС задач базируется на двух составляющих.

Первая составляющая – надежный канал мультисервисной связи между автомобилем и автомобилем, а также между автомобилем и инфраструктурой. Такой канал должен как минимум удовлетворять следующим требованиям [23]:

- быть стандартным и обеспечивающим принцип OSI;
- иметь достаточную пропускную способность, низкую латентность, высокую скорость установления соединения с движущимся на предельной скорости объектом — для решения всего спектра задач;
- быть защищенным;
- быть всепогодным.

Вторая составляющая – это различные математические модели, ориентированные на решение той или иной задачи. Общим свойством всех этих моделей является необходимость представления отражения некоторой конкретной реальной дорожной сети или представления ограниченного небольшого участка такой сети.

Для решения любой из перечисленных задач крайне необходимо наличие общего унифицированного описания, единой модели дорожной сети,

которое не потребует дублирования в каждой из частных моделей, обеспечит синхронность внесения изменений и, как следствие, возможность согласованной работы частных прикладных математических моделей отдельных сервисов в единой среде. Это дает возможность разбить ИТС сервисы на отдельные составляющие и развивать их, к примеру, разными коллективами.

При этом нужно понимать, что задачи кооперативных ИТС могут значительно расшириться в самом ближайшем будущем. Потенциально перспективными могут стать следующие функции [23]:

- обеспечение приоритетного пропуска пассажирского транспорта;
- передача видео с борта пассажирского транспорта – с фронтальной и внутрисалонной камер;
- слежение за состоянием прилегающих парковочных площадей с использованием бортовой камеры пассажирского или специализированного транспорта и сервисов бортовой видеоаналитики с привязкой к маршруту движения;
- отображение рекомендуемой скорости для движения в «зеленой волне» на бортовом компьютере;
- мониторинг потоков по принципу FCD (Floating Car Data, плывущий в потоке автомобиль, в том числе с передачей накопленного детализированного скоростного профиля движения по участку);
- контроль инцидентов по неоднородности принятых скоростных профилей;
- оценка эффективности работы систем управления (светофорного регулирования, «зеленой волны» и т.п.) по фиксации деперсонализированного времени проезда контролируемых сечений;
- контроль вибропрофиля участка автомобильной дороги (в том числе с передачей накопленного детализированного вибрационного профиля движения по участку).

Сервисы кооперативных ИТС плавно подготавливают водителей к изменению маршрута, посылая сигнал-предупреждение о дорожных знаках, скоростных ограничениях и т.п. Кооперативные системы предлагают значительно более качественную информацию о транспортных средствах, их расположении и дорожных условиях и для операторов использование контролируемых ими дорог и лучше реагировать на инциденты и различные опасности.

Преимущества кооперативных ИТС исходят из более полной информации, которая доступна из транспортного средства и его окружения. Тот же набор информации может быть использован для расширения функциональности систем безопасности и в самом автомобиле.

В некоторых случаях отчеты о трафике сегодня прибывают слишком поздно и, к сожалению, бывают недостаточно точными и объективными.

В будущем каждый автомобиль будет также служить в качестве некоего блока дорожного мониторинга, который доставляет данные анонимно и в реальном времени до центра управления дорожным движением. Центр будет генерировать прогноз быстро и использовать V2X технологии, чтобы отправить его только на транспортные средства, которых это затрагивает. Транспортные средства будут получать только ту информацию, которая им реально нужна.

Во взаимодействие вовлечены различные типы структурных элементов: транспортные средства, элементы дорожной инфраструктуры и операционные центры. Метод мониторинга используется для сборки данных, таких как факт обнаружения транспортного средства и его скорость. Транспортные средства поддерживают связь с инфраструктурой, посылая сообщения в сервисный центр. Инфраструктура – это только посредник, не применяющий какие-либо методы обработки данных (см. Рис. 3).

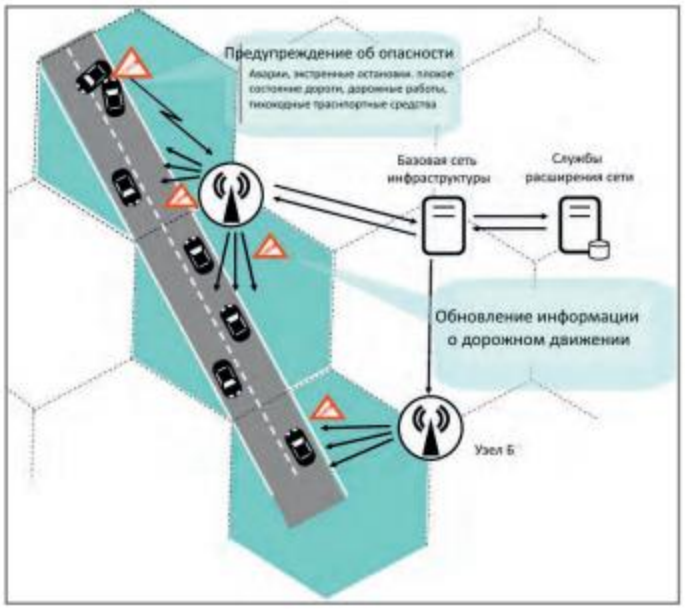



Рис. 3 – Общая архитектура ИТС

Источник: Евстигнеев И.А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России / – М.: Изд-во «Перо», 2015. – 164 с. [23].

Эффективность ИТС напрямую зависит от технологий беспроводной связи, систем передачи данных, систем позиционирования транспортного средства и от расширения качества цифровых дорожных карт.

В части беспроводной связи ставка делается на развитие специализированного стандарта скоростной передачи данных на короткие расстояния – DSRC (Dedicated Short Range Communications).

Радиосвязь ближнего действия в транспортной среде – один из важнейших компонентов интеллектуальных транспортных систем. Технология DSRC приобретает все большее распространение в сфере транспортных коммуникаций. Это связано, прежде всего, с тем, что ее применение позволяет существенно повысить безопасность, экономичность, комфортность поездок и перевозок на автомобильном транспорте.

Решения на базе DSRC признаны в мире как наиболее рациональные, дешевые и современные в своей области. Технология DSRC является разновидностью технологии Wi-Fi для применения на движущемся транспорте и обеспечивает [23]:

- практически мгновенное (менее четверти секунды) соединение;

- передачу данных на скоростях до 27 Мбит/сек на дальность до 1,5 км;
- устойчивую работу при движении транспорта со скоростью до 250 км/ч.

Долгое время коммерческое применение технологии DSRC находили главным образом в системах электронного платежа. Данная модель проработана вплоть до уровня приложений. Основных приложений три [23]:

- взимание платы – специальный стандарт ISO 14906;
- контроль исполнения правил взимания платы – специальный стандарт ISO 12813;
- помощь в позиционировании – специальный стандарт ISO 13141.

Фактически большинство задач, характерных для транспортных систем управления и связи, технология DSRS позволяет решить с учетом совместного применения технологии динамической маршрутизации для построения одноранговых сетей DTM (Delay & Disruption Tolerant Networking) и глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), к примеру, GPS или ГЛОНАСС. Фактически осуществляется кооперация с мобильной и наземной связью, когда скорости, надежности и гибкости других систем связи оказывается недостаточно, – получаются совершенно новые решения [23].

Все технологии, имеющие отношение к беспроводным сетям, можно объединить в термине M2M (Machine-to-Machine). Если выражаться простым языком, то это не что иное, как межмашинное взаимодействие. Под этим понятием также можно понимать и «интернет вещей» IoT (Internet of Things). Предметом большинства вопросов и дискуссий на тему интернета вещей является следующее: что отличает IoT-мир от технологий M2M. Технологии межмашинного взаимодействия и интернета вещей очень схожи по своей сути, но есть существенные различия. Рассмотрим их ниже.

## Различие технологии M2M и IoT

Под M2M-технологиями (межмашинного взаимодействия) в настоящее время понимается преимущественно технологии беспроводной передачи данных, а под M2M-устройствами - беспроводные мобильные устройства, оснащенные SIM-картами и предназначенные для передачи телеметрической информации без участия человека.

В настоящее время M2M-технологии переживают этап бурного развития. Беспроводные технологии межмашинного взаимодействия все активнее входят в самые различные сферы. В целом, популярности M2M способствует высокая востребованность мобильного взаимодействия устройств, широчайший охват GSM-сетей, а также постоянное удешевление выпускаемых устройств, а, следовательно — и более низкая стоимость решений для конечного пользователя [161].

Постоянное снижение стоимости высокотехнологичных продуктов, в частности M2M-оборудования, открывает возможности его применения в новых сферах, где оно, становясь экономически целесообразным, вытесняет традиционные «проводные» решения. По оценкам консалтинговой компании J'son & Partners Consulting (J&P), глобальный рынок средств связи для беспроводной передачи данных ожидает бурный рост. В ежегодном отчете компании J&P отмечается стремительное развитие технологии M2M. В последние годы увеличение рынка устройств, работающих на принципах беспроводной связи, составляет более 20% [161-165].

Все прогнозы о «взрывном» росте количества M2M-подключений основываются на новой концепции M2M — «Интернете вещей» (IoT), являющейся частью более общей концепции «Интернета сервисов» (Internet of Services, IoS). Понятие «M2M-устройство» охватывает как традиционные средства телеметрии и телеуправления (к которым можно отнести подавляющее большинство используемых сейчас устройств M2M, включая сетезависимые беспроводные), так и независимые от сетей и приложений устройства IoT. А устройства «Интернета вещей» — это только устройства,

имеющие возможность через свободное IP-подключение (на физическом уровне, как правило, Wi-Fi) взаимодействовать с различными системами телеметрии и телеуправления, реализованными как облачные и/или онлайн-сервисы. То есть «Интернет вещей» — это облачные телеметрия и телеуправление.

Облачные системы способны обеспечить детализированное оптимизационное управление широкой номенклатурой объектов управления, причем не только объектами в целом («умный дом», «умный автомобиль») и их системами (энергоснабжения, освещения, кондиционирования), но и отдельными элементами этих систем, вплоть до лампочки в системе освещения. Эта особенность является причиной большого разброса в прогнозных оценках количества таких устройств: количество «умных лампочек» и других компонентов управляемых объектов действительно может достигать десятков млрд. По данным компании Strategy Analytics, количество IoT-устройств к концу 2018 г. достигло 22 млрд. шт. [163, 164].

Для реализации концепции «Интернета сервисов» необходима унификация всего разнообразия сетей доступа и домашних/локальных сетей на базе стека протоколов IP и переход абонентов от использования частных абонентских устройств, сенсоров и контроллеров к выполненным в идеологии «Интернета вещей» сенсорам и исполнительным устройствам со свободным сетевым доступом к ним.

Для оператора связи основные отличия устройств IoT от умных абонентских устройств состоят в потенциально существенно большем количестве первых, на порядки меньшем объеме трафика в расчете на одно устройство, но при этом в более высоких требованиях к качественным характеристикам. В число таких характеристик входят: доступность канала, задержка сигнала в канале, уровень информационной безопасности, необходимая мощность излучения (соответственно, длительность автономной работы устройств). Для телеметрических IoT-устройств больший вес имеют качественные (доступность, безопасность), а не количественные

(емкость) характеристики канала. На Рис. 4 показаны области требований различных сервисов к сетям передачи данных [163].

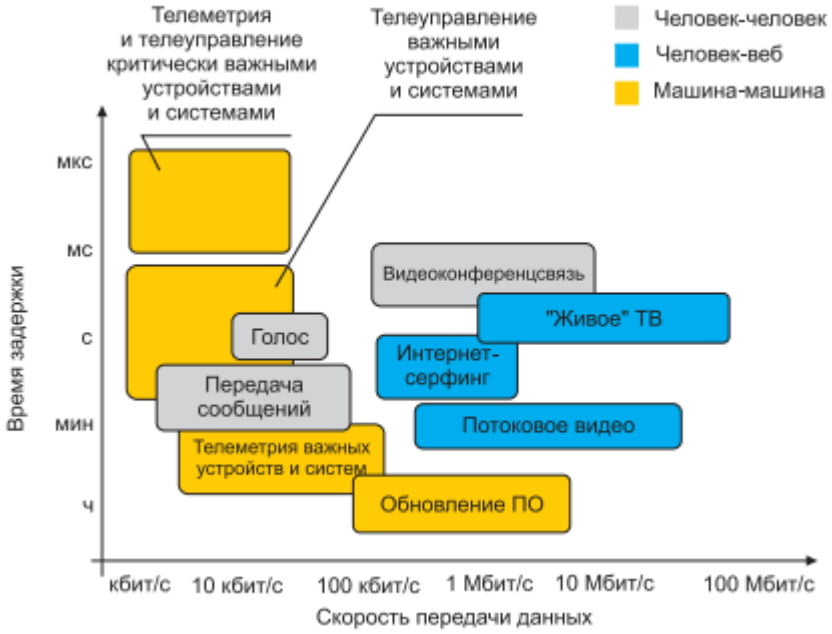



Рис. 4 – Требования различных сервисов к сетям передачи данных

Источник: [163].

Примечание: ТВ – телевидение;
ПО – программное обеспечение.

Основой любой беспроводной сети служит ее протокол, установленный соответствующим стандартом связи. Далее рассмотрим деятельность основных стандартизирующих организаций.

## 1.2 Стандартизация в области беспроводной связи

### 1.2.1 Деятельность ведущих организаций по стандартизации

Важнейшим аспектом развития современных телекоммуникационных систем является их стандартизация. Стандартизация необходима всем участникам рынка беспроводных сетей, включая производителей электронных компонентов, изготовителей аппаратуры, разработчиков сетей и конечных пользователей. Прежде всего, стандартизация означает массовость производства, что ведет к низким ценам и широкому распространению технологии. Разумеется, выбор и утверждение стандарта – это процесс не только технический, но и политический. Как правило, различные фирмы зачастую прорабатывают альтернативные варианты будущей технологии. От того, какой из них будет утвержден в качестве стандарта, зависят и объемы будущих прибылей. Поэтому, чтобы стандарт действительно стал общепризнанным, стандартизирующая организация должна быть чрезвычайно авторитетной, а сама процедура утверждения – максимально открытой и беспристрастной.

«Головной» организацией в мире в области стандартизации в телекоммуникациях является Международный союз по электросвязи ITU (International Telecommunications Union), работающий под эгидой ООН. После реорганизации 1 марта 1993 г. два его сектора вобрали в себя три важнейшие стандартизирующие организации. В сектор радиосвязи ITU-R (ITU Radiocommunication Sector) вошли Международный консультативный комитет по радиовещанию CCIR (International Radio Consultative Committee) и Международный комитет по регистрации радиочастот IFRB (International Frequency Registration Board). До этого ключевую роль в распределении спектра частот играли именно эти организации. Они также занимались вопросами спутниковых систем связи, глобальных радиосистем и др. Сектор телекоммуникаций международного союза по электросвязи ITU-T (ITU Telecommunication Standardization Sector) стал преемником Международного

консультативного комитета по телеграфии и телефонии CCITT (Consultative Committee for International Telephone and Telegraphy), долгие годы издававшего сборники стандартов в области телекоммуникаций. Третий сектор ITU – исследовательский сектор ITU-D (ITU Telecommunication Development Sector), созданный на базе организованного в 1989 г. Бюро телекоммуникационных исследований TDB (Telecommunication Development Bureau).

Огромную роль в области утверждения международных стандартов играет Международная организация по стандартизации ISO (International Organization for Standardization). Это сеть институтов стандартизации 148 различных стран. Если ITU, как агентство ООН, представляет собой межправительственную организацию, то ISO – неправительственный орган. Среди членов ISO не только правительственные, но и частные организации. Прародителем ISO стала основанная в 1906 г. и успешно действующая до сих пор Международная электротехническая комиссия IEC (International Electrotechnical Commission), занимающаяся вопросами стандартизации в области электротехники и электроники. Можно сказать, что IEC и ISO поделили сферы влияния: IEC – стандарты в области электроники и электротехники, ISO – все остальное. Они используют единую систему нумерации, и в кодах стандартов зачастую фигурирует название обеих организаций.

Отметим, что и ITU, и ISO, и IEC выступают скорее как самые авторитетные утверждающие организации. Сегодня общемировая практика такова, что собственно технической проработкой будущих стандартов занимаются ведущие национальные и межнациональные организации. Прежде всего, это Европейский институт стандартизации в области телекоммуникаций ETSI (European Telecommunications Standards Institute), Европейская конференция почтовых и телекоммуникационных ведомств CEPT (Conference of European Postal and Telecommunication Administrations), национальные институты стандартизации. В США это ANSI (American

national standards institute), в Японии – JESA (Japanese Engineering Standards Association) в Великобритании – Министерство почт и телекоммуникаций MPT (Ministry of Posts and Telecommunications). Весьма значимы различные промышленные ассоциации и объединения, такие как Ассоциация электронной промышленности США, EIA (Electronics Industries Association), и Институт инженеров по электротехнике и электронике США (IEEE). Очевидно, что эти организации сами по себе никаких технологий не разрабатывают, но они организуют и координируют всю работу, необходимую для выбора оптимального варианта из нескольких предложенных, его доработки, документального оформления, утверждения, разрешения конфликтов и т. п. Как правило, для каждого будущего стандарта создается рабочая группа, в которую входят представители всех заинтересованных сторон, которая и занимается проработкой вопроса.

Особняком в перечне стандартизирующих организаций стоит Институт инженеров по электротехнике и электронике – IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Достаточно сказать, что членами IEEE являются ANSI и ISO. IEEE выпускает свои собственные стандарты, имеющие общемировое значение. Как правило, они затем утверждаются ISO и/или ITU. Отметим, что, несмотря на международный статус, IEEE тяготеет к североамериканскому континенту. Однако это не мешает ему быть ведущей организацией в области телекоммуникаций. В рамках темы настоящего исследования особое внимание заслуживает комитет IEEE 802, занимающийся вопросами стандартизации технологий сетей передачи данных (см. Приложение А).

В России вопросами стандартизации в качестве головного национального института занимается РОССТАНДАРТ (Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии) [14].

### 1.2.2 Стандартизация в области мобильной связи

Организации, разрабатывающие стандарты, создают рабочие группы, эксперты этих рабочих групп проводят обсуждения, согласуют точки зрения, достигают консенсуса по техническим вопросам, что почти всегда ведет к улучшению спецификации по сравнению со спецификацией, разработанной каким-то одним производителем, оператором или государственным институтом. Этот процесс характерен, прежде всего, для работ ITU. Изначально, ITU-R выпустил две основополагающие спецификации, которые обусловили функционирование сотовой связи в прошлом десятилетии. Первая из них называется «Международные мобильные телекоммуникации-2000» IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000), в ней были установлены требования для 3G устройств. Позднее, организация выпустила спецификацию под названием «Усовершенствованные международные мобильные телекоммуникации» (IMT-Advanced). Система IMT-Advanced основана на широкополосном беспроводном мобильном соединении с повсеместным использованием межсетевого протокола IP (Internet Protocol). IMT-Advanced определяет параметры соединения, которое может считаться соединением 4G во всем мире. Именно ITU-R в дальнейшем одобрили технологию LTE для дорожной карты партнерского проекта 3GPP (Third Generation Partnership Project), чтобы поддержать идею развития сотового соединения 4G. На текущий момент ITU-R продолжают разрабатывать новую систему требований для соединения 5G.

Другой орган, занимающийся установкой стандартов в мире сотовой связи, – «Партнерский проект 3-го поколения» (3GPP). Создан в 1998 г. при поддержке канадской компании Nortel Networks и американской компании AT&T Wireless. 3GPP состоит из 7 телекоммуникационных организаций (также известных как «Партнерские организации») со всего мира, которые оказывают влияние на работу и развитие технологий сотовой связи. Общая цель группы – признание уже установленных стандартов и спецификаций для

Глобальной системы мобильной связи GSM (Global System for Mobile Communications) в процессе создания 3G спецификаций для сотовой связи. Обязанности 3GPP исполняются тремя Группами технических спецификаций TSG (Technical Specifications Group), каждая из которых состоит из шести Рабочих групп WG (Working Group), и Группами координации проекта PCG (Project Coordination Group). Структура 3GPP приведена на Рис. 5.

Рис. 5 – Структура и области ответственности 3GPP

Источник: The Official Website of 3GPP / Режим доступа: https://www.3gpp.org (дата обр-я: 10.01.2020) [25].

Группы собираются несколько раз в год в разных регионах. Основной задачей стандартов 3GPP является обеспечение совместимости устройств посредством разработки и поддержки соответствующих спецификаций. Первый релиз 3GPP был выпушен в 2000 г.

Каждый технический документ 3GPP имеет уникальный идентификатор, показанный на Рис. 6.

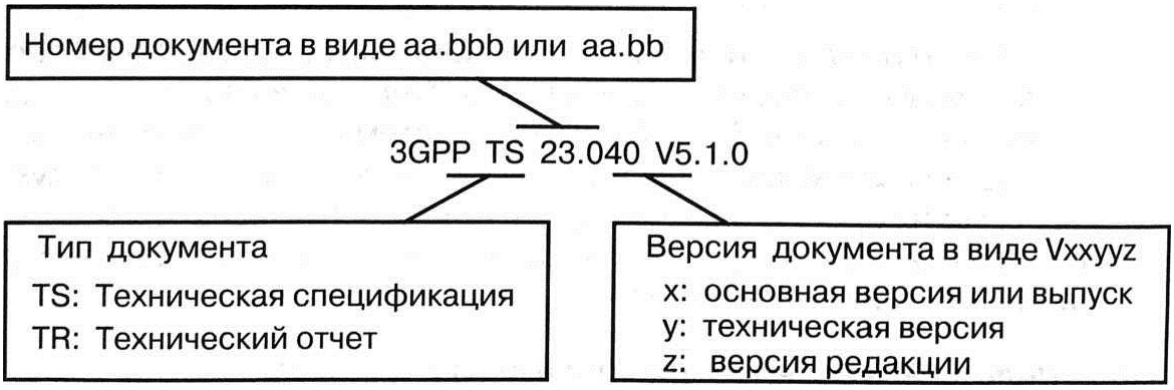



Рис. 6 – Структура идентификатора спецификации 3GPP

Источник: Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов / – Спб.: БХВ-Петербург, 2014. – 400 с. [13].

Идентификаторы документов 3GPP начинаются с префикса «3GPP», за которым далее следуют две буквы, характеризующие тип документа, TS (Technical Specifications) для технических спецификаций или TR (Technical Reports) для технических отчетов. После типа документа следует номер спецификации, который может принимать одну из следующих форм: *aa.bbb* или *aa.bb*.

В номере спецификации *aa* указывает на предназначение документа. В регистрационном номере за номером версии следует номер документа в формате *Vx.y.z*. В этом формате *x* представляет версию спецификации, *y* представляет техническую версию и *z* представляет версию редакции.

Согласно правилам 3GPP спецификация замораживается раз в год, при этом продолжается ее доработка, результаты которой включаются в следующую версию спецификации. В Приложении Б приведены релизы технологии 3GPP. В настоящее время разрабатываются стандарты 5G [13, 26].

**Разработка стандартов и спецификаций технологий 5G**

Сети 5G представляет новую фазу эволюции мобильных телекоммуникационных стандартов за пределы текущей фазы развития 4G, повышающую функциональные возможности, скорость передачи данных и другие технические требования новых сетевых решений на порядок.

Все действующие до 5G стандарты технологий мобильной связи (2G-4G) построены на принципах *открытых стандартов*: доступность, ориентация на конечного пользователя, бесплатность использования, недискриминационность, возможность развития, отсутствие лицензий использования, инновационность.

Согласно определению ITU-T, открытый стандарт – это стандарт или протокол, который равным образом доступен для чтения и использования без ограничений всем заинтересованным сторонам и который [27]:

- не содержит компонентов или расширений, зависящих от форматов или протоколов, которые не попадают под определение открытого стандарта;
- не содержит правовых или технических положений, ограничивающих его использование любой заинтересованной стороной в любых схемах предпримимательства;
- разработан и дорабатывается в ходе процедур, не зависящих от конкретного поставщика и открытых для равноправного участия конкурентов и третьих сторон;
- доступен в большом количестве полных реализаций, выполненных конкурирующими поставщиками, или в виде полной реализации, в равной степени доступной всем сторонам.

Эти же принципы заложены в разработку новых стандартов на технологию мобильной связи пятого поколения (5G).

Влияние на будущий технологический облик сетей 5G и потребности в радиочастотном спектре будут оказывать несколько факторов [28, 29, 30, 31]:

- Прогнозы роста потребления трафика различными пользователями при оказании услуг мобильного беспроводного доступа до 2030 г.;

– Изменение парадигмы развития мобильной связи как сетей доступа для сетей Интернета вещей (IoT) и M2M;
– Достижение предела спектральной эффективности технологиями мобильной связи 2G/3G/4G;
– Технические требования к сетям 5G, сформулированные при выполнении европейских проектов METIS (-I и –II) и 5GIC, а также проекта IMT-2020.

Основными организациями, вовлеченными в стандартизацию 5G на глобальном международном уровне, являются ITU, 3GPP и oneM2M. На европейском уровне вопросами стандартизации сетей и услуг 5G занимается ETSI. В ETSI созданы несколько горизонтальных технических комитетов и индустриальных групп, которые участвуют в разработке европейских стандартов 5G и формируют предложения для спецификаций 3GPP и oneM2M [30]:

– Технологические комитеты:
  - Группа стандартизации мобильной связи (MSG);
  - Передача на миллиметровых волнах (mWT);
  - Умные сети широкополосного доступа (SmartBAN);
  - Умные сети межмашинного обмена (SmartM2M).
– Индустриальные группы:
  - Виртуализация сетевых функций (NFV);
  - Протоколы будущих поколений (NGP).

Далее рассмотрим вклад в развитие стандартов 5G каждой из указанных выше организаций.

## Обзор деятельности Международного союза электросвязи по разработке рекомендаций и стандартов 5G

В Секторе стандартизации ITU-T и Секторе радиосвязи ITU-R созданы: оперативная группа (ОГ) IMT2020 «Будущие сети, включая облачные вычисления, сети подвижной связи и сети последующих поколений» в Исследовательской комиссии ИК13 и рабочая группа WP5D «IMT-системы» в ИК5 «Наземные службы».

ОГ по сетевым аспектам IMT-2020 в ИК13 ***Сектора стандартизации ITU-T*** была создана в мае 2015 г. для анализа принципов взаимодействия появляющихся технологий 5G в будущих сетях в качестве предварительного исследования инноваций в области организации сетей, необходимых для обеспечения развития систем 5G. Проведя исследования развития 5G в будущем, ОГ IMT-2020 приняла концепцию экосистемы 5G и опубликовала результаты анализа развития сетей 5G в Отчете ИК13 ITU-T [32].

Задачи и направления деятельности ОГ IMT-2020 включают [33]:

- изучение демонстрационных версий или создание прототипов сетей 5G вместе с другими группами, в частности с сообществом разработчиков открытого ПО,
- совершенствование аспектов программируемости сетей и организации информационно-ориентированных сетей,
- продолжение совершенствования и развития сетевой архитектуры,
- продолжение исследований конвергенции фиксированной и подвижной связи,
- продолжение исследований разделения сетей для организации сети передачи периферийного/транзитного трафика,
- продолжение разработки новых моделей передачи трафика и связанных с этим аспектов QoS (Quality of Service) и эксплуатации, управления и технического обслуживания, применимых к IMT-2020.

В конце 2016 г. ОГ IMT-2020 представила 14 проектов рекомендаций и технических отчетов по сетям IMT-2020, которые предъявляли требования к сетевой архитектуре 5G [34-47]:

- Термины и определения для IMT-2020;
- Требования к IMT-2020 в сетевом аспекте;
- Структура сети IMT-2020;
- Требования к управлению сетями IMT-2020 и их оркестровке;
- Структура управления сетями IMT-2020 и их оркестровки;
- Структура для поддержки множественной «нарезки» сетей;
- Высокоуровневые технические характеристики программизации сетей для IMT-2020;
- Применение программируемости сетей для IMT-2020;
- Архитектура сетей для IMT-2020;
- Структура сетевой архитектуры для IMT-2020;
- Требования IMT-2020 к конвергенции мобильных и фикс. сетей;
- Универсальное сетевое интегрированное облако для конвергенции мобильных и фиксированных сетей;
- Применение информационно-центрического подхода к IMT-2020;
- Оркестровка сетевого слайсинга и управления.

Часть рекомендаций и технических отчетов была одобрена 17 сентября 2017 г. и опубликована. Перечень одобренных рекомендаций, разработанных ИК13 и относящихся к IMT-2020 показан в Приложении В.

Анализ приведенных Приложении В рекомендаций и стандартов 5G показывает, что часть из них ИК13 посвятила разработке сетевой архитектуры, сетевым возможностям, сетевым слоям (слайсингу), сетевому оркестрированию, управлению сетью и инфраструктуре для обеспечения качества обслуживания.

В дополнении к рабочим группам ИК13 ITU-T в соответствие с Рекомендацией МС ITU-T A.7 в ноябре 2017 г. была создана фокус-группа ITU-T по машинному обучению ML (Machine Learning), как одному из направлений использования ИИ для будущих сетей FG-ML5G (Focus Group on Machine Learning for Future Networks), включая сети 5G.

Целью создания фокус-группы FG-ML5G является проведение анализа использования ML для будущих сетей для выявления соответствующих пробелов и проблем в деятельности международных органов стандартизации по вопросам развития ML и связанных с этой темой. Такой анализ должен включать обзор связанных мероприятий с другими органами стандартизации и рабочими группами. Фокус-группа FG-ML5G, согласно своим полномочиям, разрабатывает технические отчеты и спецификации по проблемам машинного обучения применительно к будущим сетям связи, включая интерфейсы, сетевые архитектуры, протоколы, алгоритмы и форматы данных [48].

В составе фокус группы FG-ML5G организовано три рабочих группы:

- WG1 «Сценарии использования, услуги и требования ML»
- WG2 «Форматы данных и технологии ML»
- WG3 «Сетевая архитектура с поддержкой ML»

В январе 2018 г. состоялось первое заседание фокус-группы FG-ML5G. Результатами этого заседания стали:

- Обсуждение ML для сетей 5G: требования, ожидания, проблемы, пробелы в исследованиях и потребности в стандартизации;
- Соглашение о точном объеме и задачах фокус-группы;
- Соглашение о структуре группы, ожидаемых результатах, ответственности, план-график работы;
- Обзор письменных вкладов и перв-ной разработки результатов.

На текущий момент состоялось сеть заседаний фокус-группы FG-ML5G. Очередное заседание намечено на март 2020 г. [27].

Сектор стандартизации ITU-T стремится ускорить работу по стандартизации проводных элементов сетей 5G. Поэтому кроме ИК13 в исследования и разработку рекомендаций ITU-T по сетям 5G также вовлечены ИК11, -15, -16, -17 и -20. К примеру, ИК11 изучает вопросы построения плоскости управления сети 5G, протоколы и методологию их тестирования, а ИК15 разрабатывает технический отчет по требованиям к оптическим транспортным сетям в составе 5G [49]. В июле 2018 г. в секторе ITU-T создана фокус-группа Технологии для сетей 2030 (Technologies for Network 2030 или FG NET-2030) [50].

К настоящему времени ***сектор радиосвязи ITU-R*** выпустил более 40 рекомендаций и отчетов, охватывающих различные аспекты совместного использования спектра и электромагнитной совместимости сетей 5G, а также технические характеристики радиоинтерфейсов, общие характеристики нежелательных излучений, моделирование сетей и систем IMT-2020, концепцию развития - IMT Vision и т.д.

Рабочая группа WG5D сектора радиосвязи ITU-R разработала план по развитию IMT в направлении IMT-2020 с привязкой по годам (см. Рис. 7).

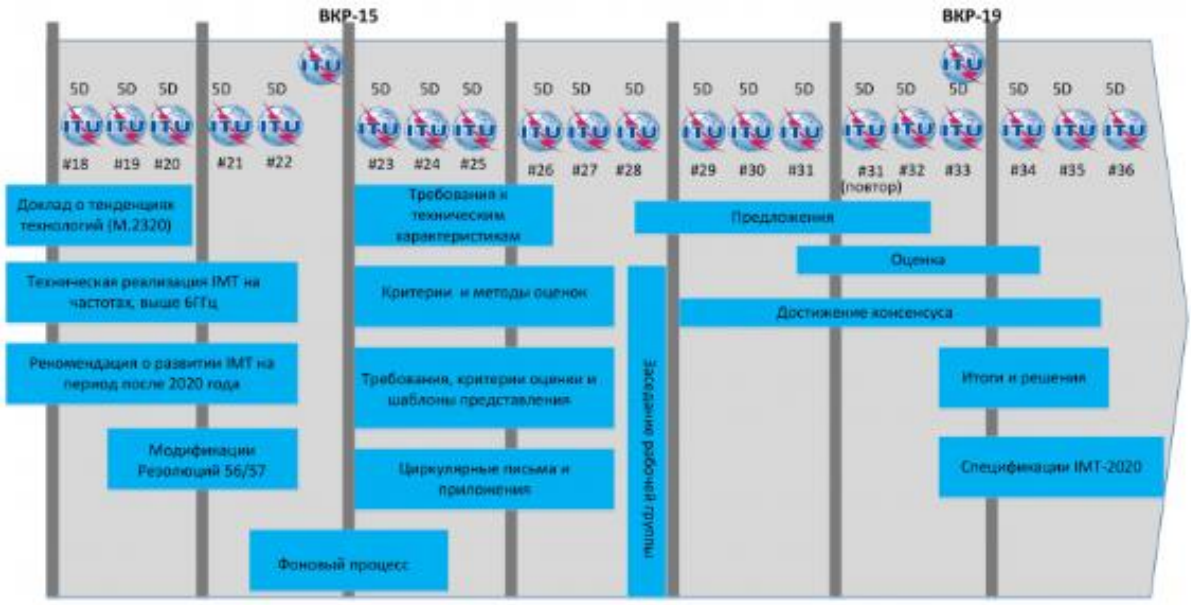



Рис. 7 – Планы ITU-R по развитию IMT-2020

Источник: The Official Website of ITU / Режим доступа: https://www.itu.int (дата обращения: 10.01.2020) [27].

Как видно из этого плана усилия WG5D на 2019-2020 гг. будут направлены на формирование итоговых документов IMT-2020, определение частотного ресурса и методики оценки радиоинтерфейсов, которые могут быть отнесены к категории 5G.

Детальные исследования ключевых элементов сетей 5G проходят в сотрудничестве с промышленностью и широким кругом заинтересованных сторон (научными центрами, национальными регуляторами, изготовителями контента), что помогает стандартизовать все аспекты создания 5G.

Сектор радиосвязи ITU-R завершил разработку следующих нормативных документов, отразивших видение в области мобильной широкополосной связи поколения 5G [29, 51, 52]:

- Отчет ITU-R M.2320: Будущие технологические тренды наземных систем IMT (2014 г.), подготовленный к Всемирной конференции радиосвязи 2015 г. (ВКР-15), в котором определены технологические требования и технические возможности IMT систем на этапе развития 2015-2020 гг. и далее;
- Рекомендация ITU-R M.2083: Структура и общие цели будущего развития IMT на 2020 г. и последующий период (2015 г.), которая отражает видение долговременного развития IMT систем до 2020 г. и далее, а также структуру и цели этого развития;
- Отчет ITU-R M.2376: Технические возможности систем IMT в полосах частот выше 6 ГГц (2015 г.), который обобщил исследования и оценки таких возможностей сетей 5G (IMT-2020) в высоких диапазонах частот, включая диапазон миллиметровых волн.

Публикация этих мнений на будущие горизонты мобильных технологий способствовала определению на ВКР-15 повестки дня Всемирной конференции радиосвязи 2019 г. (ВКР-19), на которой прошли дискуссии о

выделении дополнительного радиочастотного спектра для будущего развития IMT-2020.

Анализ рекомендаций и отчетов, подготовленных в WP5D и других исследовательских комиссиях (ИК) показал, что ITU-R до настоящего времени выпустило лишь один отчет МС ITU-R (F.2328) в котором бы детализировались особенности характеристик оборудования и архитектура сетей 5-го поколения подвижной радиотелефонной связи стандарта IMT в полосе радиочастот ниже 6 ГГц [53].

В отчете ITU-R F.2328 представлены требуемые частотные разносы в зависимости от расстояния для обеспечения совместимой работы систем IMT-2020 и радиоэлектронных средств (РЭС) фиксированной службы FS. В отчете описаны два сценария помех: влияние передатчиков базовой станции IMT-2020 на приемники станций фиксированной службы FS и передатчиков абонентского оборудования IMT-2020 (UE) на приемники станций фиксированной службы FS. А также рассмотрены четыре сценария развертывания систем IMT: макросоты в пригороде, макросоты в городе, малые соты на открытом пространстве и малые соты внутри помещений. Расчеты условий распространения проводились с использованием следующих рекомендации и отчетов [29, 54, 55]:

- Рекомендация ITU-R M.2083 – Структура и общие цели будущего развития IMT на 2020 г. и последующий период (описана выше).
- Отчет ITU-R M.2410 – Минимальные требования к техническим характеристикам радиоинтерфейсов IMT-2020 (2017 г.). В отчете изложены ключевые требования к техническим характеристикам технологий радиодоступа IMT-2020.
- Отчет ITU-R M.2412 – Руководство по оценке технологий радиоинтерфейсов для IMT-2020 (2017 г.). Отчет формулирует рекомендации по процедуре, методологии и критериям (техническим, спектральным и сервисным), которые будут

использоваться при оценке возможных технологий радиоинтерфейса RIT (Radio Interface Technology) или набора RIT (Set of RIT, SRIT) для ряда тестовых сценариев 5G.

Чтобы избежать технологических ошибок и гармонизировать подходы к выбору оптимального метода доступа для нового радиоинтерфейса 5G ITU принял Резолюцию 65 и определил процедуры выбора RIT для IMT-2020, а также план проведения оценки предложений, показанный на Рис. 8.

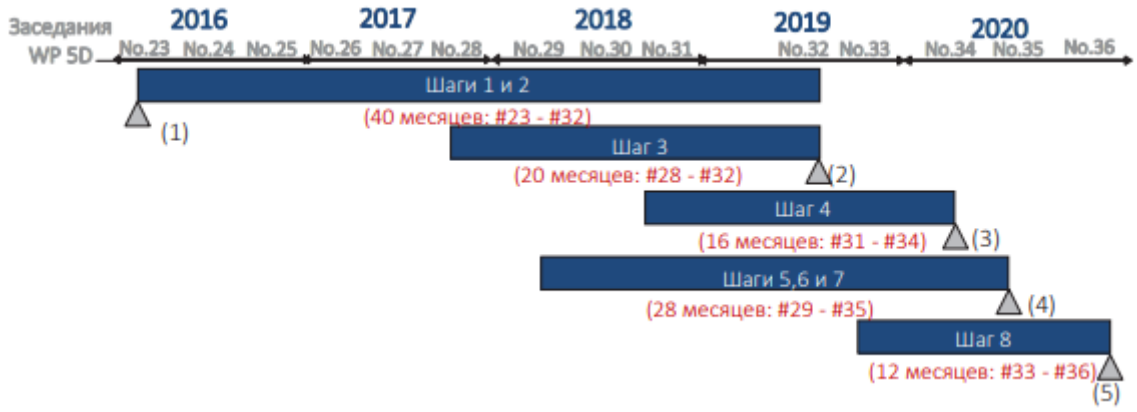



Рис. 8 – План ITU по оценке предложений
и одобрения радиоинтерфейса

Источник: The Official Website of ITU /
Режим доступа: https://www.itu.int (дата обращения: 10.01.2020) [27].

Примечание: Шаги по гармонизации радиоинтерфейса 5G включают:
Шаг 1. Издание циркулярного письма ITU.
Шаг 2. Развитие RIT и SRIT.
Шаг 3. Представление/получение предложений по RIT и уведомление о получении.
Шаг 4. Оценка возможных RIT и SRIT независимыми экспертными группами.
Шаг 5. Обзор и координация внешних оценок.
Шаг 6. Обзор оценок соответствия минимальным требованиям.
Шаг 7. Рассмотрение результатов оценок, достижение консенсуса и принятие решения.
Шаг 8. Разработка рекомендаций ITU по RIT.

Сокращения: ITU – International Telecommunications Union;
RIT – Radio Interface Technology;
SRIT – Set of RIT.

Как видно из Рис. 8 главными этапами на пути к одобрению ITU-R, гармонизированного на всемирной основе радиоинтерфейса RIT для IMT-2020 станут следующие [56]:

– Выпуск ITU приглашения к оцениванию предлагаемых решений и начало сбора предложений по радиоинтерфейсу 5G (2016 г.);
– Завершение ITU сбора предложений по радиоин-су 5G (2015 г.);

– Завершение отчета по оценке предложений по RIT (2020 г.);
– Определение WP5D облика и ключевых характеристик 5G (2020 г.);
– Завершение работ WP5D и публикация Рекомендаций ITU-R по радиоинтерфейсу RIT для IMT 5G (2020 г.).

В конце 2017 г. WP5D провела международный семинар, на котором обсуждались требования к техническим характеристикам 5G, критерии оценки и методологию отбора кандидатов для утверждения технологии IMT-2020. Процесс отбора технологий-кандидатов планируется завершить к 2020 г. разработкой Рекомендации ITU-R с подробными спец-ми для новых радиоинтерфейсов, которая будет представлена на утверждение в ITU-R [31].

Несмотря на отсроченные до 2020 г. планы ITU по гармонизации и выбору радиоинтерфейса 5G, Партнерский проект 3GPP в 2017 г. начал процесс стандартизации требований к сетям 5G [56].

## Обзор деятельности Партнерского проекта 3GPP по разработке отчетов и технических спецификаций 5G

Согласно планам 3GPP работа по стандартизации первой фазы сетей 5G (см. Рис. 9) завершена в 2018 г. (Релиз 15). Эти спецификации адресованы, прежде всего, производителям оборудования для обеспечения ввода в коммерческую эксплуатацию первых сетей 5G (намечено на 2020г.).

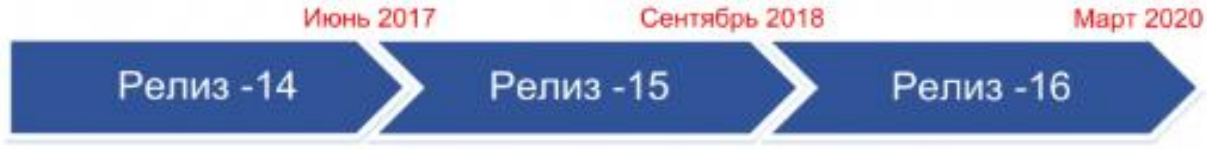



Рис. 9 – Этапы разработки технических спецификаций 5G

Источник: 1. Тихвинский В.О. Стандартизация мобильной связи 5G как процесс создания инфраструктурной основы цифровой экономики / Электросвязь. – 2018. – № 11. – С. 24-30 [31].
2. Dino Flore D. LTE evolution and 5G / 3GPP, 2017. – 16 p. [56].

Детальный план работ над Релизом 15, показанный на Рис. 10, был утвержден на пленарном заседания TSG72 групп технических спецификаций 3GPP (Пусан, Южная Корея).

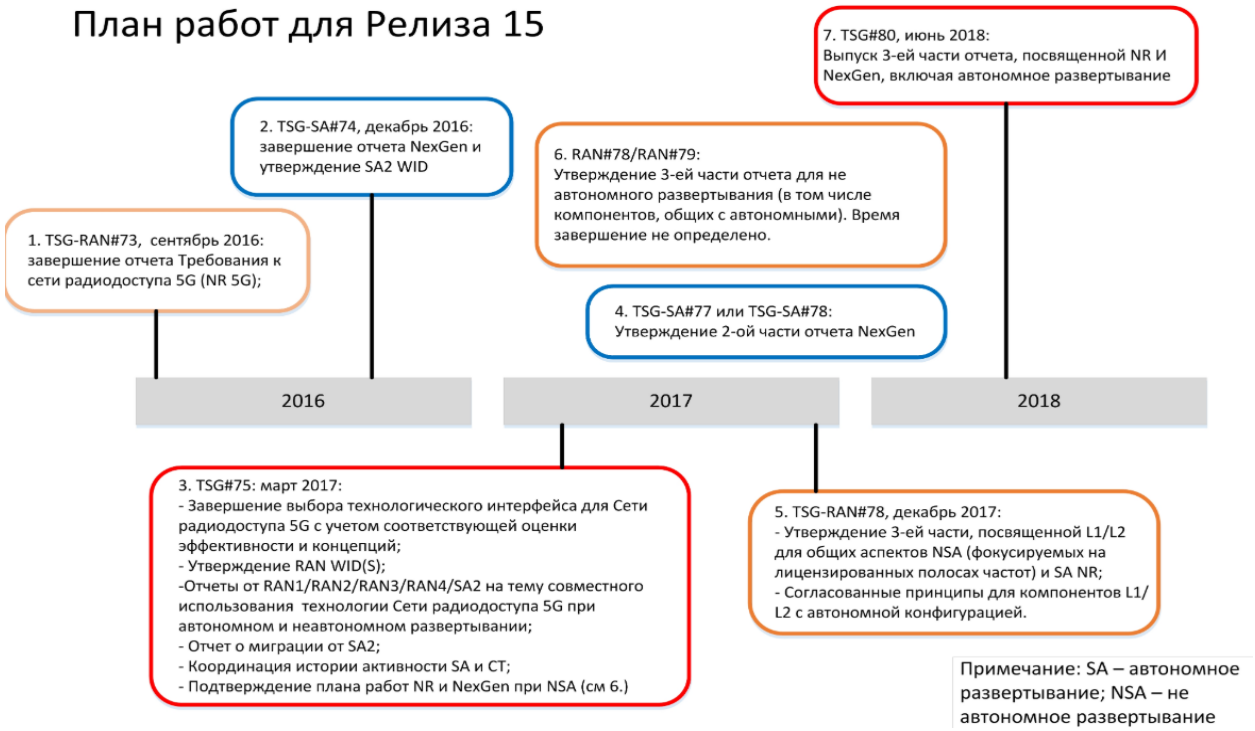



Рис. 10 – План работ по Релизу 15 3GPP

Источник: The Official Website of 3GPP /
Режим доступа: https://www.3gpp.org (дата обращения: 10.01.2020) [25].
Примечание: TSG – Technical Specifications Group;
RAN – Radio Access Network;
WID – Work Item Description.

Этот подробный план работы 3GPP над Релизом 15 включал в себя множество промежуточных задач и календарных точек контроля статуса проведенных работ для обеспечения эффективного руководства текущими исследованиями по 5G в различных рабочих группах 3GPP. Главными датами этих выполнения работ были следующие [33, 49]:

– сентябрь 2016: завершение подготовки Технического отчета по новым требованиям к радиодоступу (NR);
– декабрь 2016: начало нормативной работы группы SA2 по архитектуре сети нового поколения (NexGen);
– март 2017: начало разработки спецификации новых требований к радиодоступу (5G NR) Рабочими группами RAN;
– декабрь 2017: публикация предварительных технических требований Релиза 15 к сети радиодоступа и базовой сети 5G;
– июнь 2018: завершение разработки фазы 1 сети 5G и публикация окончательной версии Релиза 15.

Члены 3GPP в марте 2017 г. достигли согласия о том, что в рамках Релиза 15 будут проводится работы и публикуются спецификации только по двум из трех сценариев использования сетей 5G (use case) [33, 49]:

– улучшенный мобильный широкополосный доступ eMBB (enhanced Mobile Broadband);
– ультранадежная связь с низкими задержками URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications).

Однако, третий сценарий – массовые подключения для межмашинного обмен данных mMTC (massive Machine Type Communications) или mIoT– на этапе работ по Релизу 15 вошел только в перечень исследовательских вопросов Технического отчета 3GPP. Основная работа по спецификации требований 5G для услуг mMTC запланирована в Релизе 16. Было также достигнуто соглашение об использовании диапазона 6 ГГц как точки отсчета на шкале спектра для проведения работы по исследованию спектра как ниже 6 ГГц, так и выше 6 ГГц.

План стандартизации и работ по Релизу 16, взаимоувязанный с планом работ рабочей группы WG5D сектора радиосвязи ITU-R, приведен на Рис. 11.

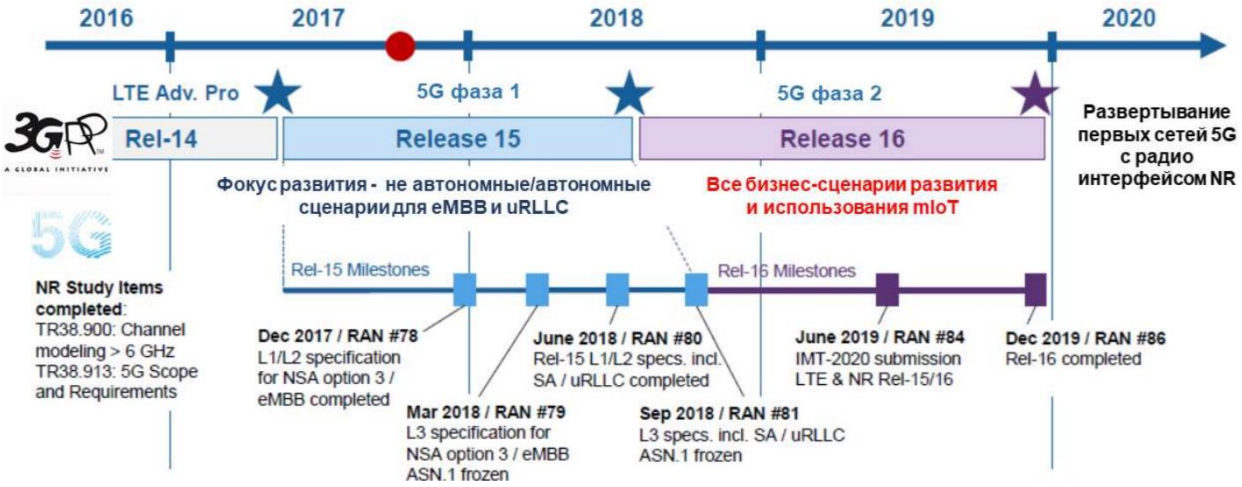



Рис. 11 – План работ по Релизу 16 3GPP

Источник: Тихвинский В.О. Текущее состояние и успехи в стандартизации оборудования сетей 5G/IMT-2020 в различных международных организациях связи/альянсах/консорциумах / XIX Международный форум: регулирование в сфере инфокоммуникационных технологий. СПЕКТР-2019. – 2019. – 17 с. [50].

Сокращения: ASN 1 – Abstract Syntax Notation One; eMBB – enhanced Mobile Broadband; LTE – Long-Term Evolution ; mIoT – massive Internet of Things; NR – New Radio; NSA – Non-Stand-Alone; RAN – Radio Access Network; SA – Stand-Alone; URLLC – Ultra-Reliable and Low Latency Communications

Релиз 16 является основным релизом развития проекта 5G в фазе 2, не в последнюю очередь потому, что при его разработке будет проведена доработка стандарта IMT-2020 до завершенной системы 5G.

В настоящее время все технические спецификации 3GPP по стандартизации технических требований первой фазы сетей 5G общим числом более 88 томов объединены в единую 38 серию спецификаций (Приложение Г).

Внутри 38 серии спецификаций 3GPP можно выделить следующие группы спецификаций по направлениям, приведенные в Табл. 1.

Табл. 1 – Группы спецификаций 3GPP (38 серия)

| Группа спецификации | Описание |
|---|---|
| 38.101-38.1xx | Оборудование абонентских и базовых станций сети 5G |
| 38.201-38.2xx | Физический уровень сети 5G.Описание радиоинт-са и протоколов |
| 38.301-38.3xx | Общее описание протоколов интерфейса NR сети 5G. Шаг 2 |
| 38.401-38.4xx | Архитектура сети радиодоступа NG-RAN сети 5G |
| 38.501-38.5xx | Тестирование (подтверждение соответствия) абонентского оборудования сети 5G |
| 38.801-38.8xx | Технические отчеты об исследованиях нового радиоинтерфейса сети 5G и новых полос частот |
| 38.901-38.9xx | Технические отчеты по результатам исследований моделей распространения, новых частотных каналов и результатам экспериментов в части сети 5G |

Источник: [58-73].
Сокращения: NR – New Radio; NG-RAN – New Generation Radio Access Network.

Анализ технических спецификаций 3GPP по стандартизации технических требований к сети радиодоступа NG-RAN 5G в диапазонах ниже 6 ГГц показал, что эти вопросы рассмотрены в спецификациях и отчетах, представленных в Табл. 2.

Табл. 2 – Спецификации и отчеты 3GPP, определяющие требования к сети радиодоступа NG-RAN 5G

| Спецификации и отчеты | Название |
|---|---|
| 3GPP TS 38 101 | NR; UE radio transmission and reception |
| 3GPP TS 38 104 | NR; BS radio transmission and reception. |
| 3GPP TR 38 817-1 | NR; General aspects for UE RF for NR. |
| 3GPP TR 38 817-2 | NR; General aspects for BS RF for NR. |
| 3GPP TR 38 813 | NR; New frequency range for NR (3.3—4.2 GHz). |
| 3GPP TR 38 901 | NR; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz |

Источник: [60-65]:
Сокращения: BS – Base Station; RF – Radio Frequency; NR – New Radio; UE – User Equipment.

Главные требования к архитектуре сети 5G были сформулированы в следующих технических спецификациях и отчетах, представленных в Табл. 3

Табл. 3 – Спецификации и отчеты 3GPP,
определяющие требования к архитектуре сети 5G

| Спецификации и отчеты | Название |
|---|---|
| 3GPP TS 38.300. | NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2. |
| 3GPP TS 38.401. | NG-RAN; Architecture description. |
| 3GPP TS 23.501. | System Architecture for the 5G System; Stage 2. |
| 3GPP TR 23.799. | Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces. |
| 3GPP TR 29.891. | 5G System - Phase 1; CT WG4 Aspects. |
| 3GPP TR 38.801 | Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces. |

Источник: [66-71].
Сокращения: CT – Core Network and Terminals; NR – New Radio;
NG-RAN – Next Generation Radio Access Network; WG – Working Group.

Стандартизация бизнес-моделей и соответствующие системные требования к ним были также зафиксированы в технических спецификациях 3GPP, представленных в Табл. 4.

Табл. 4 – Спецификации 3GPP,
отражающие стандарты бизнес-моделей и требования к сетям 5G

| Назначение | Спецификации | Название |
|---|---|---|
| mloT | 3GPP TS 22.861 | Massive Internet of Things |
| CRIC | 3GPP TS 22.862 | Feasibility study on new services and markets technology enablers for critical communications; Stage 1 |
| eMBB | 3GPP TS 22.863 | Feasibility study on new services and markets technology enablers for enhanced mobile broadband; Stage 1 |
| NEO | 3GPP TS 22.864 | Feasibility study on new services and markets technology enablers for network operation; Stage 1 |
| V2X | 3GPP TS 22.886 | Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services |

Источник: [74-78].
Сокращения: mloT – massive Internet of Things; CRIC – Critical Communications;
eMBB – enhanced Mobile Broadband; NEO – Network Operation. V2X – Vehicle to Everything.

## Обзор деятельности Партнерского проекта oneM2M по разработке отчетов и технических спецификаций 5G

В 2012 г. произошел запуск Партнерского проекта oneM2M, область деятельности которого составили вопросы, связанные со стандартизацией технологий и услуг M2M. Структура этого проекта включает несколько рабочих групп, имеющих свои области ответственности, отражена на Рис. 12.

Рис. 12 – Структура и области ответственности oneM2M

Источник: 1.The Official Website of oneM2M / Режим доступа: http://www.onem2m.org (дата обращения: 12.01.2020) [79].
2. Тихвинский В.О, Коваль В., Бочечка Г.С Перспективы стандартизации Интернета вещей в международных организациях связи / Первая миля. –2017. –№ 2 (63). –С. 26-32 [80].

Сокращения: ARC – Architecture; MAS – Management, Abstraction and Semantics; PRO – Protocols; REQ – Requirements; SEC – Security; TST – Test.

Глобальный партнерский проект oneM2M направлен на объединение усилий крупнейших региональных экономик мира, формирование новой экосистемы для технологий и услуг связи между машинами. Инициаторами создания партнерского проекта выступили семь региональных организаций, специализирующихся в области стандартизации телекоммуникаций [81]:

- Европейский институт стандартизации электросвязи (European Telecommunication Standard Institute, ETSI);
- Японская ассоциация радиопромышленности и бизнеса (Association of Radio Industries and Business/Japan, ARIB);
- Японский комитет телекоммуникационных технологий (Telecommunications Technology Committee/Japan,TTC);

- Китайская ассоциация стандартизации электросвязи (China Communications Standards Association/China, CCSA);
- Американская ассоциация телекоммуникационной промышленности (Telecommunications Industry Association/ USA, TIA);
- Американский альянс по промышленным телеком-ным решениям (Alliance for Telecommunications Industry Solutions/USA, ATIS);
- Корейская ассоциация телекоммуникационных технологий (Telecommunication Technology Association/Korea, TTA)

Отчет о деятельности Партнерского проекта oneM2M показывает, что из 228 членов проекта большая часть участников это члены ETSI – 122 (более 50% от одного из семи главных партнеров oneM2M), что свидетельствует о существенной инновационной активности европейской части проекта стандартизации M2M [72].

Регламентом работы Партнерского проекта oneM2M предусматривается ежегодное проведение шести пленарных заседаний, что, по мнению участников проекта, должно способствовать быстрейшему трансферу региональных и национальных технических стандартов в технические спецификации oneM2M. Это соответствует ожиданиям рынка от деятельности партнерства, привлекает к участию в нем заинтересованные компании [81].

В январе 2015 г. был закончен и опубликован Релиз 1 oneM2M, включавший 12 Технических спецификаций с требованиями к системной архитектуре сетей M2M. В январе 2016 г. был ратифицирован уточненный Релиз 1, который фактически можно трактовать как Релиз 3 ETSI, но не имеющий совместимости с Техническими спецификациями oneM2M.

В июле 2016 г. на Пленарном заседании TP25 oneM2M, состоявшемся в США, было объявлено о завершении работы над Релизом 2 oneM2M, включающего 17 спецификаций, которые устанавливают требований к

системной архитектуре сетей M2M, безопасности сетей M2M в цепочке E2E для любых устройств и серверов. На TP25 oneM2M была отмечена важная роль промышленных применений в области IoT и представлены планы разработки 14 новых дополнительных спецификаций для Релиза 3, расширяющих действие Релиза 2 oneM2M на сферу IoT.

Приложения IoT будут составлять основу базовых бизнес-моделей в сетях 5G. Работы Партнерского проекта oneM2M по разработке Релиза 3 будут сфокусированы на двух главных направлениях (треках): индустриальный Интернет вещей (IIoT), и усилия по улучшению адаптации к рынку. Кроме того, деятельность Партнерского проекта oneM2M по направлению IoT, включая сегмент 5G, будет направлена на поддержку целевых управляющих групп (Object Management Group's) по услугам распределённых данных (Data Distribution Service), систем реального времени (Real Time Systems) и инициативы по открытым сервисным шлюзам (Open Service Gateway) [33].

Дальнейшие работы Партнерского проекта oneM2M по направлению поддержки адаптации к рынкам будут включать разработку руководящих принципов и документации для разработчиков приложений IoT, а также разработку документации и спецификаций по тестированию решений M2M.

### 1.2.3 Стандартизация в области интернета вещей

В настоящий момент наблюдается активный рост как спроса на услуги Интернета вещей (IoT) со стороны индивидуальных и бизнес-потребителей, так и предложений со стороны производителей оборудования и сервис-провайдеров услуг IoT [82]. Он поддерживается процессами стандартизации в области Интернета вещей на международном, региональном и национальном уровнях в виде разработок различных рекомендаций, технических спецификаций и нормативно-правовых актов, определяющих

требования к оборудованию, приложениям, сетям и услугам IoT, а также к сетям доступа [80].

Значительный интерес к стандартизации интернета вещей также вызван рядом других причин [83]:

- Во-первых, со времени основания интернета ключевую роль в стандартизации всех аспектов этого технологического феномена современности играют США. Включение тематики интернета вещей в повестку стандартизации дает возможность стратегическим конкурентам и союзникам США пересмотреть сложившийся статус-кво в сфере контроля за технологиями на стыке цифрового и физического миров, в том числе через формирование новых комитетов и рабочих групп (и связанных с ними секретариатов) в области стандартизации.
- Во-вторых, возможность выделения промышленного интернета вещей в отдельное направление является стратегически важной задачей для таких стран как Япония и Германия, конкурентоспособность которых в значительной степени зависит от контроля над технологиями перехода к цифровой экономике и промышленной автоматизации. С этой точки зрения, одной из важнейших недекларируемых целей разработки концепции Industry 4.0 являлось именно позиционирование Германии в качестве глобального лидера стандартизации IIoT.
- Наконец, современный этап характеризуется активным участием растущих китайских компаний, которые стремятся зафиксировать свой заметно изменившийся статус в мире технологий и стандартизации. Укрупненная схема участников работы над стандартами изображена на Рис. 13.

Рис. 13 –. Участники разработки стандартов,
рекомендаций и протоколов в сфере Интернета вещей

Источник: Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. – М.:ООО«Лайм», 2019. – 272 с. [83].

Сокращения: ИСО/МЭК – Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) / Международная электротехническая комиссия (International Electrotechnical Commission, IEC); СТК – совместный технический комитет ; ПК –подкомитет; РГ – рабочая группа; ТК – технический комитет; МСЭ-Т – Сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, ITU-T); IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers; 3GPP – 3rd Generation Partnership Project ;W3C – World Wide Web Consortium; IETF – Internet Engineering Task Force; oneM2M – one Machine-to-Machine.

Как видно на Рис. 13., наиболее статусными и значимыми в международном масштабе являются Международные организации в области стандартизации, к которым в полной мере относятся ISO и IEC (с соответствующим совместным подкомитетом ИСО/МЭК СТК 1/ПК 41 «Интернет вещей и смежные технологии» (ISO/IEC JTC 1/ SC 41 «Internet of Things and related technologies»).

Важным и интересным игроком в международной стандартизации интернета вещей является также ITU-T, разрабатывающий рекомендации, которые могут рассматриваться и учитываться при независимой работе на уровне ISO/IEC [83].

Отдельно можно отметить такие национальные организации как [83]:

- Американский национальный институт стандартов (American National Standards Institute, ANSI);
- Немецкий институт по стандартизации (Deutsches Institut fur Normung e.V., DIN);
- Немецкая Комиссия по Электротехнике, Электронике и Информационным Технологиям (DKE) при Немецком институте по стандартизации и Немецком Союзе электротехники (German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE);
- Британский институт стандартов (British Standards Institution, BSI).

В Российской Федерации вопросы стандартизации IoT находятся в ведении Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), которое в декабре 2016 г. по инициативе АО "Российской венчурной компании" (АО РВК) приняло решение о создании нового Технического комитета по стандартизации ТК194 «Кибер-физические системы» [84].

Заметным авторитетом в отраслевых сообществах также пользуются некоммерческие международные организации, которые профессионально занимаются узкоспециализированными вопросами, например, разработкой конкретных протоколов в системах связи.

**Разработка стандартов и спецификаций технологий IoT**

Технологии интернета вещей привлекают внимание технического и бизнес-сообщества примерно с 2009 г., когда данный термин был введен в широкий оборот. По нашему мнению, изначально термин использовался скорее в маркетинговых целях, однако достаточно быстро стало понятно, что он отражает важный этап в развитии технологии – начавшийся переход к

глобальному межмашинному взаимодействию. Уже в 2012 г. ISO и IEC приступили к предварительному изучению тематики интернета вещей. Эксперты пришли к выводу, что отсутствие качественной системы стандартов в этой технологической области сдерживает полномасштабное практическое использование продуктов и сервисов на ее основе [83].

Далее более подробно рассмотрим деятельность таких организаций, как ISO/IEC, ITU, 3GPP, ETSI вовлеченных в стандартизацию IoT.

## Обзор деятельности Международной организация по стандартизации и Международной электротехнической комиссии по разработке рекомендаций и стандартов IoT

Одним из центральных в совместной деятельности ISO и IEC является Совместный технический комитет № 1 «Информационные технологии» – Joint Technical Committee (СТК 1 ИСО/МЭК, JTC1 ISO/IEC).

Комитет по информационным технологиям был создан для объединения деятельности двух родственных организаций. Основная цель JTC1 состоит в разработке, поддержке, продвижении и содействии развитию ИТ-стандартов, необходимых глобальному рынку для согласования требований произв-лей и потребителей по следующим направлениям [83]:

- разработка и развитие ИТ-систем и средств их разработки;
- производительность и качество ИТ-продуктов и систем;
- безопасность ИТ-систем и информации;
- мобильность, т.е. способность программного обеспечения работать на различных аппаратных платформах или под управлением различных операционных систем;
- интероперабельность ИТ-продуктов и систем (способность программного продукта или системы функционировать во

взаимодействии с другими продуктами или системами при наличии информации только об интерфейсах этих программ или систем);

- унификация инструментов и средств разработки;
- гармонизация ИТ-словаря;
- дружественность и эргономичность дизайна пользовательских интерфейсов.

Большая часть работы по конкретным направлениям проходит в подкомитетах (subcommittee, SC). Большинство подкомитетов имеет несколько рабочих групп (WG).

В настоящее время в работе JTC1 полноправно участвуют 33 страны, в частности, Казахстан и Россия; 62 страны – являются наблюдателями (в т.ч. Азербайджан, Армения, Беларусь, Молдова, Узбекистан, Украина). Важно отметить, что функции секретариата JTC1 выполняет ANSI – Американский национальный институт стандартов, который достаточно внимательно отслеживает те инициативы, которые потенциально ведут к перераспределению контроля над ключевыми стандартами и протоколами интернета.

Как отмечалось, вопросами интернета вещей в рамках JTC1 занимается специально созданный в 2017 г. Подкомитет SC41. Исполнение функций секретариата SC41поручено Южной Корее в лице Корейского агентства по техн-ям и стандартам (Korean Agency for Technology and Standards, KATS).

С 2017 г. на базе подкомитета ISO/IEC JTC1/SC41 «Интернет вещей и смежные технологии» реализуется план по разработке стандартов интернета вещей. В деятельности подкомитета принимает 25 стран – полноценных участников и 9 наблюдателей.

Структура подкомитета по состоянию на ноябрь 2018 г. представлена на Рис. 14.

Рис. 14 – Структура ISO/IEC JTC1/SC41

Источник: 1. Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. – М.:ООО«Лайм», 2019. – 272 с. [83].
2. The Official Website of ISO/IEC JTC1/SC41 / Режим доступа: https://jtc1info.org (дата обращения: 12.01.2020) [85].

Сокращения: РГ – рабочая группа; ИГ – индивидуальная группа; IoT – Internet of Things.

В настоящий момент SC41 «Интернет вещей и смежные технологии» состоит из трех полноценных рабочих групп [85]:

- WG3: Архитектура IoT;
- WG4: Интероперабельность (совместимость) решений IoT;
- WG5: Приложения IoT.

Рабочие группы организованы по особо востребованным направлениям рынка международных стандартов. К моменту написания настоящего отчета эксперты соответствующих рабочих групп завершают разработку семейства базовых стандартов, в состав которого входят следующие док-ты [86, 87, 88]:

– Стандарт ISO/IEC 20924 «Интернет вещей. Термины и определения» закладывает единое понимание инженерного языка, рекомендуемого к применению в рамках тематики интернета вещей. Сложность в разработке термин-ого стандарта связана с необходимостью учета и отражения разнообразных рыночных потребностей. На его основе будут развиваться все последующие стандарты.

- Стандарт ISO/IEC 21823-1: «Интернет вещей. Интероперабельность систем Интернета вещей». Часть 1. Структура» посвящен проблеме интероперабельности, или совместимости систем и устройств интернета вещей. Проблема совместимости обусловлена значительным разнообразием продвигаемых на рынке систем и устройств IoT и, следовательно, разнообразием протоколов для обеспечения функционирования этих систем и устройств.
- Стандарт ISO/IEC 30141: «Интернет вещей. Эталонная архитектура» является одним из ключевых регламентов в общей системе стандартизации интернета веще. Архитектура в данном случае представляет собой онтологию предметной области «Интернет Вещей» и включает взаимосвязанный набор определений (понятий), связей и правил. Она описывает некоторую унифицированную IoT-систему (процессы, принципы построения), очерчивает проблемные области интернета вещей. Архитектура является отправной точкой для разработки остальных стандартов интернета вещей.

Как отмечалось выше, весьма важна и задача стандартизации технологии промышленного интернета вещей. С точки зрения технологической составляющей, работа над вопросами стандартизации IIoT фокусируется на стыке интернета вещей и «Умного производства». На нынешнем этапе, к задачам SC41 «Интернет вещей и смежные технологии» относится проведение анализа требований рынка и состояния текущих мероприятий по стандартизации в области промышленного интернета вещей. Типовая архитектура IIoT является частью эталонной архитектуры интернета вещей, что отмечено в соответствующем стандарте [83].

## Обзор деятельности Международного союза электросвязи по разработке рекомендаций и стандартов IoT

В Секторе стандартизации ITU-T исследования в области интернета вещей были начаты в 2012 г. в исследовательской комиссии ИК13 («Новое поколение сетей») [82]. В 2015 г. они были переданы во вновь созданную ИК20 «IoT и его приложения, включая «умные» города и сообщества», ответственную за международные стандарты, которые обеспечивают скоординированное развитие IoT-технологий, включая межмашинные коммуникации и всеохватывающие сенсорные сети. В состав ИК20 входят две рабочих группы: WP1 «Интернет вещей» и WP2 «Умные города и сообщества». На исследовательский период 2017-2020 гг. ИК20 запланировала рассмотрение 57 вопросов по IoT.

В марте 2016 г. были одобрены первые две рекомендации ITU-T, разработанные ИК20 [89, 90]:

- Рекомендация Y.4702: «Общие требования и возможности управления устройствами в Интернете вещей»;
- Рекомендация Y.4553: «Требования к смартфонам как к узлам потребления приложений и услуг Интернета вещей».

Кроме того, для исследования вопросов развития сетей и услуг M2M в апреле 2012 г. в соответствии с Рекомендацией ITU-T A7 в составе Сектора стандартизации ITU-T была создана фокус-группа FG по вопросам сервисного уровня M2M (ITU-T Focus Group on «M2M service layer»). Эта фокус-группа поставила перед собой задачи определения минимального набора общих требований к сетям и услугам M2M для вертикальных рынков (в первую очередь для отрасли здравоохранения) и подготовки технических отчетов в этих областях. В конце 2013 г. рабочая группа FG M2M была закрыта и вопросы IoT/M2M были переданы в ИК20 [80, 84].

На одной из очередных встреч ИК20 в 2016 г., WP1 и WP2 рассмотрели и согласовали проекты следующих новых рекомендаций [89-96]:

- Y.4113: «Требования к сетям Интернета вещей»;
- Y.4451: «Структура организации сети устройств с ограничениями в среде Интернета вещей»;
- Y.4452: «Функциональная структура веб-объектов»;
- Y.4453: «Структура адаптивного программного обеспечения для устройств Интернета вещей»;
- Y.4454: «Платформа межсетевого взаимодействия для умных городов»;
- Серии от Y.Suppl.42 до Y.4100: «Сценарии использования клиентоцентричного пространства».

Консультативная группа по стандартизации электросвязи TSAG (Telecommunication Standardization Advisory Group) одобрила названия новых рекомендаций серии Y, разрабатываемых ИК20.

Текущая встреча ИК20 состоялась 25.11 - 06.12 2019 г. в Женеве [27].

## Обзор деятельности Партнерского проекта 3GPP по разработке отчетов и технических спецификаций IoT

Первые исследования рабочих групп 3GPP по стандартизации решений в области сетей и услуг M2M были начаты в рамках разработки Релиза 10. В документах Релиза 10 были сформулированы общие требования к M2M-услугам в сетях доступа M2M на основе технологии LTE Advanced, которые сфокусированы на обеспечении контроля и управлении перегрузками, вызываемыми трафиком M2M-приложений в сети доступа.

Дальнейшее развитие технических требований к сетям доступа и услугам M2M в Релизе 11 3GPP было направлено на разработку нового функционального элемента MTC-IWF (Machine Type Communication –

Inter Working Function) архитектуры сети LTE, осуществляющего межсетевое взаимодействие между базовой сетью M2M и сетью доступа LTE.

Специалисты Партнерского проекта 3GPP расширили общие требования к поддерживаемым сетью LTE M2M-услугам, сформулировали требования к функции инициализации M2M-устройства из спящего режима (пробуждения), ввели требования использования IP- адресации для M2M-устройств вместо адресации E.164, расширяющие общее адресное пространство, а также требования по поддержке M2M-устройств, работающих только с пакетной коммутацией [97].

Основной целью работ 3GPP по вопросам M2M в Релизе 12 было создание дешевых абонентских устройств M2M на базе технологии LTE, так называемых устройств LTE класса 1. В Релизе 12 были дополнительно расширены требования к M2M-услугам, сформулированы требования к функциям групповой доставки сообщений, групповых ограничений, групповой тарификации, функциям передачи малого объема данных и отправки сообщений с низкой активностью, требования к мониторингу событий, к низкой мобильности устройств, к функциям контроля времени передачи и приема данных, а также требования по снижению энергопотребления M2M-устройств [80, 84].

Рабочие группы Партнерского проекта 3GPP в 2015 г. завершили исследование по оптимизации технологии LTE (TR 36.888) с целью обеспечения создания решений, конкурентных по стоимости с M2M-устройствами для сетей стандарта GSM (2G) [98]. Эволюция и планы Партнерского проекта 3GPP по стандартизации новых решений для IoT/M2M показаны на Рис. 15.

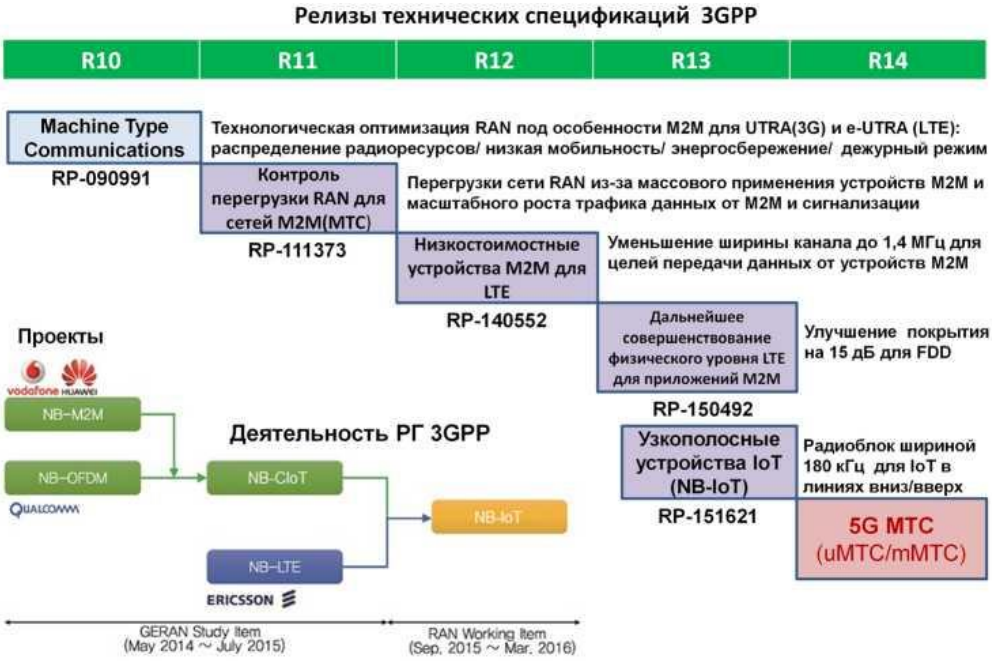



Рис. 15 – Эволюция и планы 3GPP по стандартизации решений для IoT/ M2M

Источник: 1. Тихвинский В.О., Коваль В.А., Бочечка Г.С. Интернет вещей: международная стандартизация / Электросвязь. – 2017. – № 2. – С. 18-23 [76].
2.The Official Website of TAICS /
Режим доступа: https://www.taics.org.tw (дата обращения: 12.01.2020) [99].

Сокращения: 3GPP – Generation Partnership Project; FDD – Frequency Division Duplex; GERAN – GSM EDGE Radio Access Network; IoT – Internet of Things; LTE – Long-Term Evolution; M2M – Machine-to-Machine; MTC – Machine Type Communication; NB-IoT – Narrow Band Internet of Things; RAN – Radio Access Network; UTRA – UMTS Terrestrial Radio Access;

В настоящее время Партнерский проект 3GPP стандартизирует три отдельные технологии для частотных диапазонов с лицензированным использованием спектра [80, 84]:

- LTE-M, которую можно рассматривать как эволюцию технологии LTE для оптимизации под IoT в сетях радиодоступа RAN (используется канал шириной 1,4 МГц). Первая версия появилась в Релизе 12 в IV квартале 2014 г., а затем была оптимизирована в Релизе 13. Полная спецификация LTE-M появилась в I кв. 2016 г.;
- EC-GSM (с расшир. GSM-покрытием), которая стандартизирована для решения GERAN в Релизе 13. Полная спецификация также появилась в I квартале 2016 г.;
- Clean Slate Cellular IoT (Narrow Band Internet of Thingsи, NB-IoT) с новым узкополосным радиоинтерфейсом, которая создается в

рамках развития сетей RAN (Релиз 13). Стандартизация начата в IV квартале 2015 г. Данное решение на основе узкополосных FDMA-сигналов в восходящем канале и узко-полосного OFDMA-сигнала в направлении к абоненту использует каналы шириной 200 кГц.

В Табл. 5 показано, что наиболее перспективные экономические и технические параметры обеспечивает технология NB-IoT. Спецификациями 3GPP в Релизе 13 была реализована возможность сохранить сетевые решения релизов 10-13 и сочетать такие характеристики технологии LTE (LTE Advanced, LTE Pro), как сигналы OFDM, повышенная дальность связи и большой срок службы аккумуляторов. Бюджет радиолинии NB-IoT был улучшен на 20дБ по сравнению с LTE Advanced. В восходящем канале технология NB-IoT для передачи небольших объемов данных позволяет абонентским терминалам (АТ) работать параллельно.

Табл. 5 – Характеристики технологий для IoT/M2M

| Характеристики | LTE-M (1,4 МГц) | NB-IoT (200 кГц) | EC-GSM (200 кГц) |
|---|---|---|---|
| Улучшенное покрытие, в том числе внутри зданий, дБ MCL | 156 (улучшение +15 дБ по сравнению с LTE Advanced) | 164 (улучшение +20 дБ по сравнению с LTE Advanced) | 164 (улучшение +20 дБ по сравнению с LTE Advanced) |
| Радиус действия (прямая видимость), км | < 11 | < 15 | < 15 |
| Емкость при массовом применении | > 52 тыс. АТ/сота/180 кГц | > 52 тыс. АТ/сота/180 кГц | > 52 тыс. АТ/сота/180 кГц |
| Скорость передачи данных | < 1 Мбит/с | < 200 кбит/с | < 70 кбит/с |
| Срок автономной работы, лет | > 10 | > 10 | > 10 |
| Цена IoT-модуля | $5.0 (2016)/$3.3 (2020) | $4.0 (2016)/$2-3 (2020) | $5.5 (2016)/$2.9 (2020) |
| Сценарий использования спектра | В полосе лицензируемых частот 3GPP (In-band) | Три сценария: In-band, Stand alone, Guard-band | В полосе рефарминга лицензируемых частот 3GPP (Stand alone) |
| Необходимость обновления сети | Будет определена | Да (HW/SW) | Да (HW/SW) |
| Примечание. MCL – Minimal Coupling Loss (минимальные потери при затухании); HW/SW – аппаратное/программное обеспечение сети. | | | |

Источники: 1.Тихвинский В.О., Коваль В.А, Бочечка Г.С Перспективы стандартизации Интернета вещей в международных организациях связи / Первая миля. –2017. –№ 2 (63). – С. 26-32 [80].
2.Тихвинский В.О., Коваль В.А., Бочечка Г.С. Интернет вещей: международная стандартизация/ Электросвязь. – 2017. – № 2. – С. 18-23 [84].

Ожидается, что технология NB-IoT благодаря снижению издержек на строительство сетей, увеличению зон покрытия и удлинению срока службы аккумуляторов клиентских устройств поможет подключить миллиарды «вещей» к IoT.

Деятельность партнерского проекта oneM2M подробно рассмотрена в разделе 1.2.2.1.

**Обзор деятельности Европейский институт телекоммуникационных стандартов по разработке рекомендаций и стандартов IoT**

На европейском экономическом и технологическом пространстве стандартизация сетевых решений, услуг и бизнес-моделей M2M осуществляется через институт ETSI, в котором в 2009 г. был создан Технический комитет M2M/ETSI. К настоящему времени этот комитет завершил разработку Релизов 1 и 2 стандартов, определяющих базовые требования к сетям M2M, которые показаны в Табл. 6.

Табл. 6 – Релизы и стандарты ETSI для сетей M2M

| Параметры | Релиз 1 | Релиз 2 |
|---|---|---|
| Дата завершения | Ноябрь 2011 г. | Март 2013 г. |
| Стандарты, вошедшие в релизы | TS 102 689 v.1.1.1<br>TS 102 690 v.1.1.1<br>TS 102 921 v.1.1.1 | TS 102 689 v.2.1.1<br>TS 102 690 v.2.1.1<br>TS 102 921 v.2.1.1 |

Источники: 1.Тихвинский В.О., Коваль В.А, Бочечка Г.С Перспективы стандартизации Интернета вещей в международных организациях связи / Первая миля. –2017. –№ 2 (63). – С. 26-32 [80].
2.Тихвинский В.О., Коваль В.А., Бочечка Г.С. Интернет вещей: международная стандартизация/ Электросвязь. – 2017. – № 2. – С. 18-23 [84].
3.The Official Website of ESTI / Режим доступа: https://www.etsi.org (дата обр-я:12.01.2020) [100].

После создания Партнерского проекта oneM2M технический комитет M2M/ETSI утратил часть своих полномочий, но одновременно получил и ряд дополнительных. В итоге Правлением ETSI было принято решение сохранить комитет, преобразовав его с учетом новых полномочий, направленных на реализацию Директив ЕС по вопросам M2M и IoT (Smart Grid, Smart metering, eCall и др.) в SmartM2M. В рамках этого комитета были образованы три рабочих группы: STF 505 – по интернету вещей, STF 510 – по тестированию устройств и STF 513 – по эксплуатации и развитию онтологии SAREF (The Smart Appliances Reference Ontology). Группа STF 505, созданная в ноябре 2015 г. для стандартизации требований к сетям и услугам интернета вещей, проводит заседания посвященные созданию технического отчета SmartM2M по разработке стандартов для интернета

вещей на основе анализа имеющихся достижений международных организаций и индустриальных альянсов в области стандартизации IoT.

Кроме этого, технический комитет SmartM2M занимается вопросами проведения семинаров по безопасности IoT и оценкой различий в стандартизации технологий интернета вещей в европейских странах. Для этого группой STF 505 проводятся исследования, результаты которых войдут в два технических отчета TR 103 375 «Стандарты IoT и будущая эволюция» и TR 103 376 «Сценарии использования IoT при реализации крупномасштабных пилотных проектов и разрыв в стандартизации» [101, 102].

Заседание Технического комитета SmartM2M (28-30 ноября 2016 г.), посвященное стандартизации вопросов онтологии устройств IoT и M2M, включало рассмотрение проектов следующих стандартов и отчетов [103, 104]:

- ETSI TS 103 268. Онтология умных устройств потребительского сегмента (appliances) и структура тестирования связи;
- ETSI TS 103 410. Расширения умных устройств до эталонной онтологии потребительского сегмента SAREF. Часть 1: Энергетический домен;
- ETSI TR 103 410. Исследование расширения умных устройств с эталонной онтологией SAREF.

Онтология SAREF используется в качестве эталонной (референсной) для устройств IoT и M2M, относимых к потребительскому сегменту (appliances): это бытовая электроника на уровне домашней или офисной окружающей среды.

Анализ активности участия российских научных центров и производителей оборудования в работе международных организаций связи показывает, что Российская Федерация наилучшим образом представлена в

двух из них – в МСЭ (17 организаций) и в ETSI (8 организаций), а в Партнерских проектах 3GPP и oneM2M участвует только АО «Петер-Сервис». Если рассматривать непосредственное участие в рабочих группах МСЭ и ETSI, занимающихся стандартизацией IoT и M2M, то в работе ИК20 МСЭ-Т принимают участие только представители ПАО «Ростелеком», а в Техническом комитете SmartM2M ETSI – только представители отделения ИТТ РАЕН. Это свидетельствует о незначительном влиянии России на решение вопросов международной стандартизации в области IoT и M2M, что может привести к потере компетенций и международного статуса России как влиятельного технологического партнера.

### Деятельность по стандартизации IOT в России

Согласно ГОСТ Р 1.1-2013 деятельность по стандартизации ИКТ-технологий и сетей сосредоточена в профильных технических комитетах (ТК) [105]. В настоящее время Росстандарт формирует новый технический комитет по стандартизации – «Кибер-физические системы». Его деятельность будет распространяться на стандартизацию следующих перспективных технологий: интернет вещей (IoT), «умные города» (smart cities), «большие данные» (big data) и «умное производство» (smart manufacturing).

В рамках деятельности нового ТК планируется разработка и принятие ряда национальных стандартов в системе ГОСТ Р [84]:

- ГОСТ Р «Интернет вещей. Эталонная архитектура» (гармонизация ISO/IEC 30141);
- ГОСТ Р «Интернет вещей. Термины и определения» (гармонизация с ISO/IEC 20924);
- ГОСТ Р «Интернет вещей. Межсетевое взаимодействие систем «Интернета вещей». Часть 1. Структура» (гармонизация с И ISO/IEC 21823-1);

- ГОСТ Р «Интернет вещей. Межсетевое взаимодействие систем «Интернета вещей». Часть X. Семантическая совместимость» (гармонизация с ISO/IEC 21823-X);
- ГОСТ Р «Большие данные. Эталонная архитектура» (гармонизация с ISO/IEC 20547);
- ГОСТ Р «Большие данные. Термины и определения» (гармонизация с ISO/IEC 20546);
- ГОСТ Р «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 1. Структура бизнес-процессов Умного города» (гармонизация с ISO/IEC 30145-1);
- ГОСТ Р «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 2. Структура управления знаниями Умного города» (гармонизация с ИС ISO/IEC 30145-2);
- ГОСТ Р «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 3. Инженерные системы Умного города» (гармонизация с ISO/IEC 30145-3);
- ГОСТ Р «Умный город. Показатели ИКТ» (гармонизация с И ISO/IEC 30146).

В феврале 2019 г. Росстандарт утвердил первый в России национальный стандарт IoT. Стандарт NB-Fi (Narrow Band Fidelity) был разработан ТК "Кибер-физические системы" на базе АО "РВК" по инициативе Ассоциации интернета вещей. Стандарт основан на российской технологии, которая позволяет создавать беспроводные сети обмена данными между модемами и базовыми станциями.

Применение технологии NB-Fi в устройствах позволяет обеспечить устойчивую дальность передачи данных до 10 километров в условиях плотной городской застройки и до 30 километров в сельской местности. Перспективные области использования стандарта NB-Fi – сферы ЖКХ, электроэнергетика, логистика, транспорт, а также индустриальные IoT-решения.

В ноябре 2019 г. ТК «Кибер-физические системы» на базе АО "РВК" обеспечил включение российских протоколов в проект международного стандарта совместимости систем IoT/IIoT. Такое решение было принято в ходе заседания подкомитета Международной организации по стандартизации ISO и Международной электротехнической комиссии IEC в области интернета вещей, которое прошло 18-22 ноября в Санкт-Петербурге.

Повестка заседания включала работу над 15 международными стандартами в сфере интернета вещей, промышленного интернета вещей и смежных технологий, в которой участвовали и российские специалисты. Эксперты обсудили такие вопросы, как создание типовой архитектуры интернета вещей, интероперабельность (совместимость), безопасность и доверенность технологий [106].

### 1.2.4 Стандартизация в области ИТС

Важнейшим аспектом совместимости любой технологии на национальном, межгосударственном и международном уровнях, является стандартизация состава, интерфейсов взаимодействия, структур данных и систем управления. Касательно ИТС, указанные области стандартизации приобретают дополнительную градацию на городские и магистральные в зависимости от зоны применения. Каждая из этих зон требует собственные подходы к построению и параметры функционирования [108].

Не меньший интерес представляет регламентирование внедрения технологий ИТС в различных странах. Он неразрывно связан с необходимостью учета таких факторов как:

- специфика распределения радиочастотного спектра;
- особенности существующей инфраструктуры;
- нормативные требования.

Однако высокие темпы развития автомобильной промышленности, продиктовали параллельное возникновение активного интереса к организации ИТС во всем мире. С учетом этого, разработкой стандартов по данному направлению развития информационных технологий с некоторым временным сдвигом занялись сразу несколько организаций. Перечень данных организаций приведен в виде блок-схемы на Рис. 16.

Рис. 16 – Организации-разработчики стандартов ИТС

Источник: Ярцев С.В. Исследование и разработка моделей и методов распределения широковещательного трафика в сетях VANET/Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2018. – 203 с. [108].

Далее рассмотрим деятельность каждой из организаций в отдельности.

### Деятельность Международной организации по стандартизации в области ИТС

Зарождение стандартизации области ИТС можно считать 1992 г., когда в рамках ISO был создан Технический комитет 204 «Интеллектуальные транспортные системы» (ISO / TC 204 Intelligent transport systems). Задачей данного комитета является стандартизация информационных систем, систем взаимодействия и управления городским и сельским наземным транспортом [107]. В процессе развития внутри комитета было создано 16 рабочих групп, взявшими на себя обязанности по выполнению исследований и стандартизации по направлениям, приведенным в Табл. 7.

Табл. 7 – Состав комитета ISO/TC 204

| **Рабочая группа** | **Направление стандартизации** |
|---|---|
| ISO/TC 204/WG 1 | Архитектура ИТС |
| ISO/TC 204/WG 3 | Технологии баз данных ИТС |
| ISO/TC 204/WG 4 | Автоматизация идентификации ТС и оборудования |
| ISO/TC 204/WG 5 | Сбор платежей |
| ISO/TC 204/WG 7 | Общее управление парком коммерческих/грузовых перевозок |
| ISO/TC 204/WG 8 | Общественный транспорт и транспорт экстренных служб |
| ISO/TC 204/WG 9 | Интегрированная информация об управлении и контроле за транспортом |
| ISO/TC 204/WG 10 | Информационные системы для путешествий |
| ISO/TC 204/WG 14 | Системы управления и предупреждения на дорогах и в ТС |
| ISO/TC 204/WG 16 | Методы взаимодействия |
| ISO/TC 204/WG 17 | Взаимодействие систем ИТС с персональными мобильными устройствами |
| ISO/TC 204/WG 18 | Объединения различных ИТС |

Источник: Ярцев С.В. Исследование и разработка моделей и методов распределения широковещательного трафика в сетях VANET/Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2018. – 203 с. [108].

Наряду с ISO и IEC, ITU является признанной организацией по стандартизации. Создание международных стандартов для ИТС в рамках ITU организовано за счет создания объединенных оперативных групп с ISO. Подобное взаимодействие позволяет сократить время вывода на мировой рынок наиболее качественных и совместимых продуктов коммуникаций объектов ИТС [109].

## Стандартизация ИТС в Европе

### Деятельность Еврокомиссии в области ИТС

Основным видом законодательных актов ЕС, направленных на реализацию мер по достижению поставленной цели, считается директива. Документом, определяющим путь развития кооперативного ИТС в Европе, является директива Еврокомиссии 2010/40/EU. В ней даны определения ИТС, общие требования к системам ИТС, необходимые сервисы, которые должны быть развернуты на территории Евросоюза [110].

В 2016 г. Еврокомиссия выпустила официальное письмо A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility (COM/2016/0766), в котором определяется список сервисов «ITS Day-1» и «Day-1.5», устанавливаются сроки развертывания систем ITS в Европе [111]. Список сервисов, определенных в письме, приведен в Приложении Д.

Письмо также определяет первоочередные задачи, необходимые для успешного развертывания кооперативной ИТС, поднимает вопросы обеспечения безопасности и приватности, совместного использования технологий 5G и G5, совместимости оборудования и другие.

Другой важной директивой надо считать 2014/53/EU или директиву RED - Radio Equipment Directive. В ней устанавливается общие требования к радиооборудованию, в том числе оборудованию ИТС. Принятие директивы потребовало адаптацию многих стандартов ИТС [112].

Директива Еврокомиссии 2016/679/EU (GDPR – General Data Protection Regulation) определяет правила обработки приватных данных, вводит требования к контролю над распространением информации. Системы безопасности кооперативной ИТС на базе стандартов ETSI соответствуют требованиям этой директивы [113].

В 2017 г. Еврокомиссия опубликовала ещё 2 документа [114, 115]:

– Европейскую политику безопасности ИТС (Security Policy & Governance Framework for Deployment and Operation of European Cooperative Intelligent Transport Systems), состоящую из:
    - структуры управления кооперативной ИТС, определяющей состав кооперативной ИТС, ее управляющие элементы, описываются варианты их взаимодействия.
    - политики безопасности кооперативной ИТС, описывающей необходимую систему информационной безопасности, защиты приватности и пользовательских данных. В данной части

документа оцениваются риски и предлагаются различные пути минимизации этих рисков.

- Европейскую политику сертификатов ИТС (Certificate Policy for Deployment and Operation of European Cooperative Intelligent Transport Systems), описывающую европейскую модель инфраструктуры публичных ключей и сертификатов ИТС. Документ задает требования к криптографическим алгоритмам, параметрам сертификатов, определяет протоколы и порядок взаимодействия между элементами структуры управления для обеспечения защищённой и бесперебойной работы Европейской кооперативной ИТС.

В настоящее время Группа Транспортного Комитета Еврокомиссии CCAM (Cooperative, connected and automated mobility) ведет разработку C-ITS Delegated Act, опубликование которого запланировано на 2019 г. Акт должен включать в себя описание развертываемой европейской кооперативной ИТС, ее архитектуру, список гармонизированных стандартов, используемых при ее реализации [116].

### Деятельность прочих европейских стандартизирующих организаций в области ИТС

Другим законодательным органом ЕС является Европейский комитет по стандартизации CEN (Comite Europeen de Normalisation,), который приступил к разработке стандартов под ИТС в 1992 г. Для этого в рамках комитета создано 17 рабочих групп, выполняющих исследования и стандартизацию по направлениям, приведенным в Табл. 8 [117].

Табл. 8 – Состав комитета CEN/TC 278

| Рабочая группа | Направление стандартизации |
|---|---|
| CEN/TC 278/WG 1 | Сбор платежей |
| CEN/TC 278/WG 2 | Грузовые перевозки |
| CEN/TC 278/WG 3 | Общественный транспорт |
| CEN/TC 278/WG 4 | Информация о трафике и для путешественников |
| CEN/TC 278/WG 5 | Управление трафиком |
| CEN/TC 278/WG 6 | Обслуживание парковок |
| CEN/TC 278/WG 7 | Обмен данными между дорожными службами и различными картографическими службами |
| CEN/TC 278/WG 8 | Управление трафиком. Организация взаимодействия WG3 и WG4 |
| CEN/TC 278/WG 9 | DSRC |
| CEN/TC 278/WG 10 | Взаимодействие типа человек-машина |
| CEN/TC 278/WG 11 | Интерфейсы между системами и подсистемами |
| CEN/TC 278/WG 12 | Идентификация ТС |
| CEN/TC 278/WG 13 | Архитектура ИТС |
| CEN/TC 278/WG 14 | Поиск украденных ТС |
| CEN/TC 278/WG 15 | Управление уровнем влияние ТС на экологию (eSafety) |
| CEN/TC 278/WG 16 | Объединения различных ИТС |
| CEN/TC 278/WG 17 | Городские ИТС |

Источник: Ярцев С.В. Исследование и разработка моделей и методов распределения широковещательного трафика в сетях VANET/Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2018. – 203 с. [108].

Помимо CEN разработкой стандартов, относящихся к области ИТС, в Европе в последствии занялись и другие участники объединения Европейских Организаций по Стандартизации ESO (European Standardization Organizations). С целью формирования единого подхода к развертыванию ИТС систем на территории Европы в соответствии с директивой Совета Европы и Европейского Парламента (Directive 2010/40/EU), Европейская Комиссия предъявила требование к участникам ESO о необходимости поддержки разработанного ею 21 фреймворка в рамках мандата (EC M/453) [118]. Данный мандат регламентирует разработку в кратчайшие сроки технических спецификаций и рекомендаций в области взаимодействия, структуры данных, типов приложений и безопасности. Однако европейский комитет электротехнической стандартизации CENELEC (European Committee

for Electrotechnical Standardization) отказалась принять мандат, вследствие чего прекратил разработку стандартов в данной области. CEN и ETSI приступили к разработке серии стандартов и технических спецификаций с кодом EN [119].

После формирования соглашения о совместной работе с CEN (в рамках мандата EC M/453) ETSI приступил к публикации общих для территории Европы стандартов для объединения C-ITS, с целью обеспечения взаимодействия модулей различных производителей ТС и RSU. Первый релиз был опубликован в 2014 г. [109].

В дальнейшем, также в 2014 г., ETSI опубликовало еще две спецификации для ИТС, касающихся сервисов. Первая спецификация - это спецификация совместных информационных сервисов (EN 302 637-2) [120]. Она регламентирует способы и технологии информационного взаимодействия класса V2V, V2I, I2V и I2I, являющегося базовым для реализации функционала безопасность дорожного движения (БДД) в ИТС. Помимо этого данная спецификация описывает синтаксис и семантику сообщений, с помощью которых производится взаимодействие между объектами ИТС. Вторая спецификация - это спецификация сервисов децентрализованного информирования окружения (EN 302 637-3) [121]. Основным принципом данного сервиса является организация передачи предупреждений о возникших по близости опасностях или изменения режима движения. Предупреждение передается на ближайший RSU, а далее транслируется всем приближающимся ТС. Получив сообщение, приложение на OBU формирует предложения о возможных способах реакции для водителя. Актуальные стандарты ETSI приведены в Приложении Д.

В 2019 г. Технический Комитет ITS-ETSI завершил публикацию первого блока стандартов кооперативного ИТС под общим названием ITS Release-1. Этот блок стандартов призван обеспечить реализации сервисов ИТС на основе технологии ITS-G5. В марте 2019 г. Еврокомиссия опубликовала регуляторный акт, который в дальнейшем должен был быть

одобрен Европарламентом и Советом Европы. Однако 21 страна проголосовала против этого предложения на встрече представителей 28 стран-членов блока ЕС в Брюсселе, объяснив это тем, что если сейчас отдать предпочтение Wi-Fi системам, в будущем на транспорте невозможно реализовать решения на базе 5G [122].

### Деятельность Партнерского проекта 3GPP в области ИТС

На сегодняшний день в Европе существуют две конкурирующие технологии ITS: ITS-G5, стандарт для которой продвигает ETSI, и C-V2X, продвижение которой обеспечивает Партнерский проект 3GPP.

В Релизе 14 спецификаций 3GPP были впервые добавлены протоколы связи V2V – расширение спецификаций LTE позволяющее устанавливать и поддерживать высокоскоростную связь между быстро движущимися объектами. Позже эти спецификации были расширены для использования стационарными и мобильными станциями и получили общее название C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything).

Рабочий план по стандартизации по стандартизации 3GPP V2X представлен на Рис. 17.

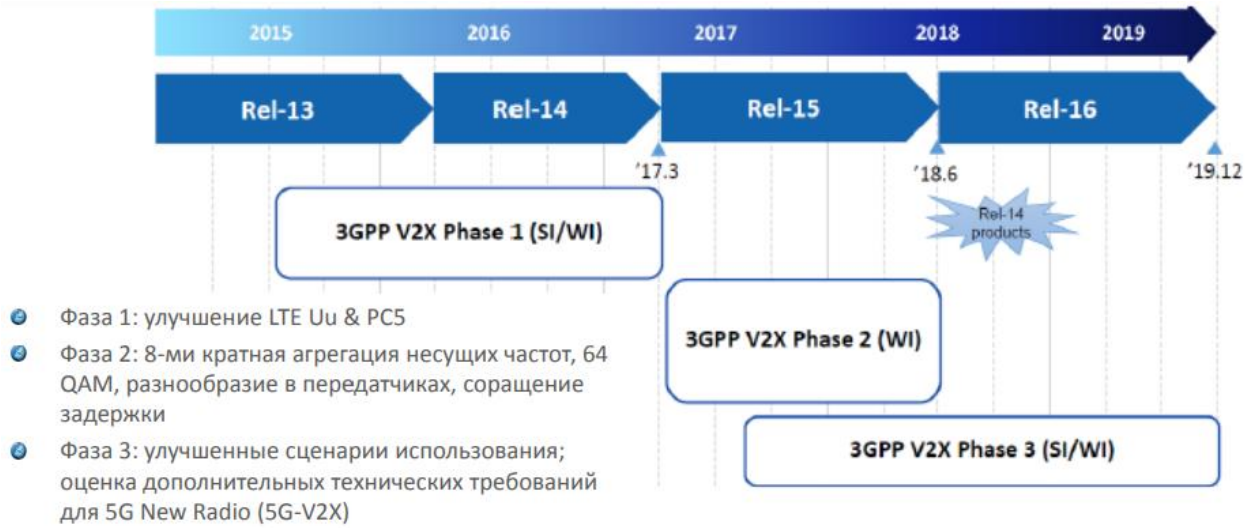



Рис. 17 – Рабочий план по стандартизации 3GPP V2X

Источник: Шарп М. Деятельность ЕСТИ в области интеллектуальных транспортных систем (автодорожные и железнодорожные) / Санкт-Петербург, 2018. – 13 с. [123].

Примечание: коммуникация C-V2X базируются на двух интерфейсах: PC5 – интерфейс класса коммуникаций D2D (Device-to-Device), LTE (Uu) – интерфейс сотовой связи.

В марте 2019 г. 3GPP одобрил введение в следующую версию глобального стандарта 5G NR (Релиз 16), который обеспечит C-V2X поддержкой 5G NR. По прогнозам, эта версия может быть принята в первой половине 2020 г. Сочетание C-V2X и поддержки eMBB (сверхширокополосная мобильная связь), спецификации которой утвердили в Релизе 15 3GPP, станет первым шагом к использованию 5G NR для создания «умных» автомобилей [124].

## Деятельность Института инженеров электротехники и электроники в области ИТС

Ассоциация по стандартизации при институте инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association, IEEE-SA) представляет собой организацию при IEEE, занимающаяся разработкой глобальных стандартов для широкого спектра областей промышленности. Так, одной из областей стандартизации, в которой важная роль принадлежит IEEE, является ИТС.

Разработкой стандартов в данной области занимается рабочая группа IEEE 802.11. Начало работ по разработке первых релизов стандарта датируется 2005 г. На протяжении четырех лет данной рабочей группой было опубликовано 10 релизов стандарта IEEE 802.11p, пока в июле 2010 г. большинством голосов не была принята окончательная версия под номером 11. В этом стандарте специфицируется структура и формат 23 данных для канального (MAC) и физического (PHY) уровней, а так же особенности реализации механизма приоритезации различных типов трафика. Разработанное IEEE семейство стандартов IEEE 1609 получило название Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) . Оно определяет архитектуру, сервисы и интерфейсы взаимодействия вида V2V и V2I для систем БДД [125]. Вместе эти стандарты составляют основу для широкого круга приложений транспортной среды. Среди них такие как: приложения связанные с БДД, приложения автоматизация платежей, приложения

навигации, приложения контроля и управления трафиком и многие другие. Всего в семействе WAVE насчитывается семь стандартов [126-132]:

- IEEE 1609.0-2013 - IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Architecture. Описывает WAVE архитектуру и сервисы, необходимые для взаимодействия многоканальных устройств DSRC/WAVE.
- IEEE 1609.1-2006 - Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Resource Manager. Специфицирует интерфейсы и сервисы менеджера ресурсов, предоставляемых приложениями WAVE. Данный стандарт определяет структуру и формат потоков данных внутри систем WAVE. Для этих целей в нем определен формат управляющих сообщений и перечень возможных ответов на них, а также формат данных, который должен использоваться приложениями для организации взаимодействия между отдельными компонентами системы. Помимо этого в нем определены форматы запросов и сообщений о статусе.
- IEEE 1609.2a-2017 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages - Amendment 1. Данный стандарт определяет механизмы обеспечения безопасности взаимодействия объектов системы WAVE. Для этого специфицируется формат сообщений безопасности, обстоятельства, при которых производится обмен данными сообщениями, а так же варианты реакции системы на данные сообщения в зависимости от условий их поступления. Так же в стандарте определены механизмы обмена сертификатами. В общем случае 24 реализация механизмов обеспечения безопасности при взаимодействии объектов WAVE строятся на таких базовых принципах как конфиденциальность, аутентификация, авторизация и целостность.

– IEEE 1609.3-2016 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services. Данный стандарт определяет сервисы транспортного и сетевого уровня, включая адресацию, маршрутизацию и поддержку безопасных соединений. В стандарте также определены способы поддержки приложениями протокола IPv6 и протокола коротких сообщений (WAVE Short Message Protocol, WSMP) в качестве альтернативы стека TCP/UDP/IPv6. Кроме того, специфицируется база управляющей информации (Management Information Base, MIB) и подуровень управления логической связью (Logical Link Control, LLC).
– IEEE 1609.4-2016 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-Channel Operation. Данный стандарт описывает структуру усовершенствованного под цели и задачи WAVE канального уровня стандарта IEEE 802.11. В нем специфицируются способы работы приложений WAVE в многоканальной среде, а также метод управления доступом к каналу, что предусматривает распределение пакетов по требуемым каналам в необходимые моменты времени.
– IEEE 1609.11-2010 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS). Целью данного стандарта является определение сервисов и формата защищенных сообщений для систем электронных платежей. В стандарте описывается модель взаимодействия прикладных сервисов и профилей для аутентификации платежей и процесс передачи платежных данных, таких как информация о счете, квитанции, чеки и подтверждение операций, посредством DSRC. При этом подразумевается, что взаимодействие между

оборудованием происходит в соответствии со стандартами IEEE 1609.3 и IEEE 1609.4.

– IEEE 1609.12-2016 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Identifier Allocations. В различных частях семейства стандартов IEEE 1609 применяются определенные идентификаторы. Способы назначения этих идентификаторов, а также способы их использования описываются в данном стандарте.

**Деятельность прочих ассоциаций и сообществ в области ИТС**

Не малую роль в развитии ИТС играют рекомендации, выпускаемые Сообществом автомобильных инженеров SAE (Society of Automotive Engineers). Среди них стоит отметить [133-135]:

– SAE J2365 – рекомендация по расчету времени для систем навигации и прокладке маршрутов,
– SAE J2678 – рекомендация по доступности систем навигации и прокладке маршрутов в ходе путешествий,
– SAE J2945 – рекомендация по использованию DSRC.

Ассоциация радиопромышленности и фирм ARIB (Association of Radio Industries and Businesses). В Японии лидирующее место по созданию стандартов в области ИТС принадлежит ARIB. Выпущенный ею стандарт ARIB STD-T55, уже в 1997 г. регламентировал правила построения архитектуры ИТС и способы внутрисистемного взаимодействия на базе DSRC [136]. Позднее, в 2001 г., ассоциация выпустила обновленный стандарт по применению DSRC, ARIB STD-T75. В нем также специфицировались параметры радиоинтерфейса между OBU и RSU [137]. Выпущенный в 2004 г. стандарт ARIB STD-T88 (Dedicated Short-Range Communication (DSRC) Application Sub-Layer), разработан в целях расширения перечня методов

взаимодействия в рамках систем DSRC, в целях поддержки множественности приложений, описанных в стандарте ARIB STD-T75 [138].

Стандарт ARIB STD-T110, выпущенный в декабре 2012 г. определил шесть основных прикладных интерфейсов для организации взаимодействия типа I2V в рамках систем DSRC. Данные интерфейсы расширяют функционал протокола DSRC. Они позволяют реализовать взаимодействие нескольких разнотипных не-IP приложений с различной функциональностью с базовыми станциями, как это регламентировано в ARIB STD-T75 и ARIB STD-T88 [139].

### Стандартизация ИТС в России

В России ситуация с выделением необходимого частотного ресурса для нужд кооперативных систем также отличается своеобразием. На основании ст. 22 Федерального закона от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи» средства связи, иные РЭС и высокочастотные устройства (ВЧУ), являющиеся источниками электромагнитного излучения, подлежат регистрации [2].

В 2007 г. было опубликовано решение Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве информационных технологий и связи Российской Федерации (ГКРЧ) № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия», однако в дальнейшем другим решением ГКРЧ (от 28 апреля 2008 г. № 08-24-01-001) в него были внесены существенные изменения. В Приложении 13 к данному решению была определена полоса радиочастот, выделенная под работу телематических устройств на транспорте,и дано их определение: «Телематические устройства на транспорте – устройства малого радиуса действия, используемые для передачи данных между транспортными средствами, а также между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой для различных информационных приложений» (см. Табл. 9) [140, 141] .

Табл. 9 – Основные технические характеристики и условия использования устройств локальных радиосетей

| Полосы радио-частот | Технические характеристики | | | Дополнительные условия использования |
|---|---|---|---|---|
| | Наименование | Значение | Размерность | |
| 5795–5815 МГц | ЭИМ Гармонизированный стандарт | 200 EN 300 674 | мВт | Требуется получение разрешения на использование радиочастот или радиочастотных каналов в установленном порядке |

Источник: Решение ГКРЧ при Минкомсвязи России от 28.04.2008 N 08-24-01-001 "О внесении изменений в решение ГКРЧ от 07.05.2007 N 07-20-03-001 "О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия" / база данных «Консультант». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=539551#07561980528051415 (дата обращения: 16.01.2020) [141].

В то же время отдельные участки полос радиочастот 5150–5350 МГц и 5650–5925 МГц могут использоваться РЭС беспроводного доступа с установленными ограничениями.

Получалось, что изначально DSRC-системы России сложно совместимы с аналогичными системами Европы и США, так как должны были работать в другом диапазоне.

Во исполнение ст. 41 Федерального закона от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи» в целях обеспечения целостности, устойчивости функционирования и безопасности единой сети электросвязи Российской Федерации был выпущен приказ Министерства связи и массовых коммуникаций РФ от 14 сентября 2010 г. № 124 «Об утверждении Правил применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц» (зарегистрировано в Минюсте РФ 12 октября 2010 г. № 18695) [142].

По сути, это главный нормативный документ, который регламентирует радиодоступ по технологии DSRC на территории России, однако требования к параметрам оборудования радиодоступа стандарта 802.11 международного стандарта IEEE 802.11p конкретно он не описывает.

В 2011 г. вышло еще одно решение ГКРЧ № 11-11-01-2 «О выделении полосы радиочастот 5855-5925 МГц для радиоэлектронных средств интеллектуальных систем на транспорте (ITS)». Согласно нему, «учитывая, что интеллектуальные системы на транспорте (ITS) способствуют повышению безопасности и эффективности дорожного движения, а также необходимость применения в стране систем гармонизированных стандартов интеллектуальных систем на транспорте» (см. табл.) [143].

Табл. 10 – Основные технические характеристики РЭС интеллектуальных систем на транспорте (ITS)

| Полосы радиочастот | Технические характеристики | | |
|---|---|---|---|
| | Наименование | Значение | Размерность |
| 5855–5925 МГц | Максимальная ЭИИМ передатчика придорожного РЭС ITS | 3 | дБВт |
| | Максимальная ЭИИМ передатчика автомобильного РЭС ITS | –10 | дБВт |

Источник: Решение ГКРЧ при Минкомсвязи РФ от 10.03.2011 N 11-11-01-2 "О выделении полосы радиочастот 5855-5925 МГц для радиоэлектронных средств интеллектуальных систем на транспорте (ITS)" / база данных «Консультант». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=503646#08705191372448651 (дата обращения: 16.01.2020).

С выходом данного решения ситуация значительно упростилась: необходимо только заключение об электромагнитной совместимости.

Многие идентификационные процедуры различных мобильных стандартов могут быть интегрированы в системную логику SIM-карты, что упрощает процесс подключения устройств к сотовой сети. Сопутствующую роль данному процессу оказало внедрение стандарта eSIM.

### 1.2.5 Стандарт eSIM

eSIM – это стандарт, разработанный ассоциацией GSMA, который позволяет хранить несколько профилей операторов связи на одном интегрированном электронном устройстве (чипе) и позволяет подключать устройства к сотовой связи без физических SIM-карт. При этом абонентские профили конкретных операторов связи могут загружаться в eSIM через сеть (Интернет) [144].

## 1.3 Классификация беспроводных сетей

Для упорядочивания всего многообразия беспроводных сетей и их изучения целесообразно выделить отдельные классы БС, обладающих близкими свойствами, т.е. провести классификацию. Обычно классификация выполняется по конкретным признакам, в качестве которых будем использовать [144]:

- вид передаваемых данных;
- способ обработки входных данных;
- ширину полосы передачи;
- локализацию абонентов;
- географическую протяженность;
- диапазон частот;
- топологию;
- область применения.

По виду передаваемых данных БС можно разделить на системы передачи:

- речи;
- аудио;
- видео;
- факсимильных;
- цифровых (символьных) данных.

Цифровые данные по своей природе относятся к дискретным данным, остальные - к непрерывным данным, но которые могут быть закодированы в цифровой форме.

По способу обработки входных данных БС делятся на:

- цифровые;
- аналоговые.

К цифровым обычно относят системы, у которых входные аналоговые и цифровые данные первоначально преобразуются в дискретные сигналы

методами цифровой модуляции и цифрового кодирования соответственно. К аналоговым относятся системы, в которых входные аналоговые и цифровые данные первоначально преобразуются в непрерывные сигналы методами аналоговой модуляции.

По ширине полосы передачи БС принято делить на:

- узкополосные;
- широкополосные;
- сверширокополосные.

Обычно полагают, что если ширина спектральной полосы F , в которой работает система, много меньше центральной частоты этой полосы fc , то система узкополосная. Если F меньше fc , то система широкополосная. Если F соизмерима с fc , то система сверхширокополосная.

По локализации абонентов БС делятся на:

- подвижные (мобильные);
- фиксированные.

Следует различать возможность технологического обеспечения подвижности абонентов и подразделение на мобильную и фиксированную службы связи, зависящее от частотного распределения и лицензирования. С технической точки зрения ограничивать мобильность может чувствительность технологии связи к скорости движения абонента, сложность перехода из одной зоны обслуживания в сопредельную без разрыва связи, восприимчивость к кратковременным пропаданиям связи и т.п.

По географической протяженности БС можно разделить на:

- персональные;
- локальные;
- региональные (городские);
- глобальные.

По используемому диапазону частот возможно деление БС на сети:

- с наземной радиосвязью;
- радиорелейные;
- спутниковые;
- оптические атмосферные (лазерные и на ИК-лучах).

Наземная радиосвязь работает в диапазоне частот 30 – 3000 МГц и предоставляет следующие возможности:

- адресный обмен данными между корреспондентами;
- услуги электронной почты;
- пересылка информации сразу группе корреспондентов;
- считывание информации, хранящейся в специально выделенном каталоге на удаленном компьютере, без участия оператора;
- оперативное получение необходимых справок с использованием удаленного доступа к базам данных информационно-справочной службы;
- доступ в территориальные сети с использованием стандартного программного обеспечения, что значительно расширяет круг абонентов сети;
- передача телеметрической информации, что освобождает от применения дорогостоящего кабельного оборудования и существенно упрощает организацию диспетчерских служб.

Достоинства использования наземной радиосвязи:

- невысокая стоимость передачи данных, по сравнению с другими видами КС; передача данных по радиоканалу во многих случаях не только надежнее, но и значительно дешевле, чем передача по коммуникационным линиям, поскольку, несмотря на более значительные начальные вложения по сравнению с телефонной связью, арендная плата за один радиоканал более чем на порядок ниже арендной платы за выделенный телефонный канал;

- возможность работы на одном радиоканале нескольких абонентов;
- возможность обмена информацией с мобильными объектами;
- высокая эффективность передачи небольших объемов информации (документов, типовых форм, справок, анкет, телеметрии, ответов на запросы к базам данных и т.п.), что имеет большую практическую ценность, например, для служб городских и районных администраций, медицинских и учебных учреждений, банков, милиции, торговых организаций и т.д.

К техническим средствам наземной радиосвязи относятся:

- радиостанции КВ- и УКВ-диапазонов;
- терминальные сетевые контроллеры – радиомодемы.

Радиомодем (РМ) предназначен для управления обмена данными по радиоканалу и включается между ЭВМ и радиостанцией (РС).

В состав радиомодема входит микропроцессор, функцией которого является реализация протокола обмена данными по радиоканалу и обеспечение взаимодействия с интерфейсом RS-232.

РМ обычно предоставляет следующие возможности:

- выбор скорости передачи;
- установка адреса получателя;
- регулировка чувствительности, предотвращающая прием фонового сигнала в отсутствие информативного.

Для предотвращения приема фонового сигнала в отсутствие информативного в радиомодем встраивается регулятор чувствительности, который задает пороговое значение входного сигнала, при котором радиомодем включается на прием. Конструктивно РМ и РС обычно выполнены как одно устройство.

Радиорелейные линии связи (РРЛС), работающие в диапазоне частот 1 – 300 ГГц, представляют собой цепочку приемно-передающих станций, антенны которых отстоят друг от друга на расстоянии прямой видимости,

зависящем от высоты установки передающей и приемной антенн соседних станций. РРЛС используют принцип ретрансляции, когда каждая станция принимает, усиливает и излучает сигнал в направлении соседней станции.

Для передачи сигналов по РРЛС применяются остронаправленные антенны с большим коэффициентом усиления 30-40 дБ (103 - 104 раз по мощности), что позволяет применять передатчики небольшой мощности (не более 10-20 Вт).

Для работы РРЛС выделяются полосы частот в области от 1 до 30 ГГц.

Достоинства этих диапазонов:

- высокая пропускная способность;
- высокая помехоустойчивость и надежность.

Для увеличения пропускной способности РРЛС на каждой радиорелейной станции (РРС) обычно устанавливается несколько комплектов приемно-передающей аппаратуры, подключаемых к одной общей антенне и использующих разные несущие (рабочие) частоты. Цепочка РРС с одним комплектом однотипной высокочастотной приемнопередающей аппаратуры, установленной на каждой станции (без модуляторов и демодуляторов), образуют так называемый высокочастотный (ВЧ) ствол РРЛС или радиоствол.

Цифровые радиорелейные линии связи (ЦРРЛС) предназначены для передачи высокоскоростных потоков цифровой информации, которая характеризуется широким спектром частот и требует широких полос пропускания приемно-передающей аппаратуры.

ЦРРЛС работают на частотах более 10 ГГц и в миллиметровом диапазоне волн с частотой от 30 ГГц до 300 ГГц. ЦРРЛС используются в многоканальных цифровых сетях связи и характеризуются высокой скоростью передачи данных за счет использования высокого спектра частот, занимаемого цифровыми сигналами.

Под спутниковой связью, работающей в диапазоне частот 1 – 100 ГГц, в общем случае, понимают связь между земными станциями (ЗС) через космические станции (КС) или пассивные искусственные спутники Земли (ИСЗ).

Организационно-техническая совокупность ЗС связи различного базирования, КС (спутники-ретрансляторы) и автоматизированной системы управления представляет собой спутниковую систему связи (ССС).

Один и тот же спутник связи может использоваться несколькими системами связи, имеющими свои комплексы ЗС.

Основные достоинства ССС:

- высокая пропускная способность;
- возможность перекрытия больших расстояний:
- возможность обеспечения связью труднодоступных районов;
- независимость стоимости и качества спутниковых каналов от их протяженности.

Однако с наибольшей очевидностью высокие качества спутниковых систем проявляются в том случае, когда вся фактическая полоса пропускания (или ее большая часть) используется системой коллективного доступа, образуя на одной частоте канал к принимающей спутниковой станции, а на другой частоте – широковещательный передающий канал. Наземные станции передают пакеты в полном диапазоне фактической полосы пропускания. Спутник ретранслирует пакеты, используя также полную полосу пропускания; эти пакеты принимаются всеми наземными станциями, находящимися в радиусе действия антенны спутника. Анализируя адрес, содержащийся в заголовке пакета, наземная станция выбирает те пакеты, которые предназначены непосредственно для нее, и не принимает остальные. Такой режим работы имеет много общего с наземными радиосистемами, описанными выше.

Самое большое отличие ССС от систем наземной радиосвязи состоит во времени распространения передаваемых сигналов. Чтобы обеспечить точное время обращения геостационарного спутника вокруг Земли за 24 ч, его необходимо поместить на экваториальную орбиту на высоте около 36000 км. Поэтому общее время распространения сигнала (к спутнику и обратно) составляет 240-270 мс в зависимости от того, находится ли спутник в зените или вблизи горизонта. Благодаря высокой скорости передачи пакетов наземная станция может успеть передать большое число пакетов, прежде чем первый из пакетов возвратится на Землю. Поэтому в спутниковых системах неприемлемы методы предотвращения столкновений с помощью контроля несущей, которые используются в наземных радиосистемах.

ССС не нужен механизм подтверждений, поскольку все наземные станции ведут прием передачи от спутника (в том числе и станцияисточник). Если станция-источник принимает свой пакет в том же виде, как он был передан на 270 мс ранее, то это является хорошей гарантией того, что пакет правильно принят также и станцией назначения. Конечно, сбой может произойти при приеме в самой станции назначения, но правильный прием пакета станцией-источником показывает, что столкновения пакетов в канале коллективного доступа не произошло. Станция назначения может запросить повторную передачу пакета и при отсутствии столкновений, если обнаружено наличие ошибки.

Оптические атмосферные беспроводные сети (лазерные и на ИК-лучах), работающие в диапазоне частот 300 – 400 ТГц, предназначены для быстрого развертывания сетей и ноутбуков.

Оптические атмосферные беспроводные сети обладают следующими достоинствами:

- невосприимчивость к электромагнитным помехам, грозовым разрядам, ядерным излучениям;
- высокая скорость передачи;

- низкая удельная себестоимость бита передаваемых данных;
- совместимость по техническим характеристикам оптоэлектронных приборов и микроэлектронных устройств.

Оптическая атмосферная беспроводная сеть может быть построена с использованием лазерных или инфракрасных атмосферных каналов (на ИК-лучах).

Применение полупроводниковых лазерных диодов на основе арсенида галлия, легированного алюминием, позволило получить лазерные атмосферные каналы со следующими характеристиками:

- длина волны излучения 850 – 870 нм;
- скорость передачи данных до 155 Мбит/с;
- вероятность ошибки при передаче данных 10-9;
- мобильность связи;
- повышенная секретность связи.

Однако использование лазерных диодов накладывает определенные ограничения:

- для обеспечения экологической безопасности применяют лазерные диоды с мощностью до 50 мВт;
- для передачи оптического сигнала на расстояние 1 – 2 км необходимо сформировать узконаправленный луч с углом расхождения в несколько единиц или долей мрад;
- жесткие требования к стабилизации передатчика (установка на массивное основание или на гироплатформу).

Инфракрасный атмосферный канал, применяемый в сетях ИК-лучах, представляет собой устройства, преобразующие электрические сигналы в оптические и обратно. При этом происходит затухание оптического сигнала по следующим причинам:

- из-за рассогласования выходных оптических параметров передатчика и входных параметров приемника;

- за счет поглощения квантов света на парах воды, молекулах углекислого газа, аэрозольных частицах.

Особенности построения и функционирования сетей на ИК-лучах:

- нет необходимости тянуть кабели, когда нет таких возможностей, например, в полевых условиях;
- небольшой радиус действия: 5-10 м - в пределах одного помещения, что обеспечивает конфиденциальность;
- излучаемая мощность невысока, а воздействие ИК-излучения на организм, в отличие от СВЧ, изучено предельно хорошо;
- устойчивость к радиопомехам;
- не требуется лицензирование частот.

Технические характеристики БС на ИК-лучах:

- дальность работы приемо-передатчика (ПП): - внутри помещения 10 м - 20 м;
- для связи между зданиями или внутри длинных коридоров - до 500 м;
- рабочие дины волн - 800-900 нм (частоты 300-400 ТГц);
- скорости передачи - до 10 Мбит/с;
- концентратор (К) с охватом $360_0$ обеспечивает одновременную работу с 255 станциями.

Недостатки сетей на ИК-лучах:

- ПП требуют ручной ориентации друг на друга;
- нет технических средств для мобильных пользователей;
- малые расстояния;
- подверженность погодным условиям (дождь, туман, снег).

По топологии БС сети можно разделить на сети с топологиями "точка - точка" (режим независимой конфигурации) и "точка – много точек" (режим инфраструктурной конфигурации).

Беспроводная сеть топологии "точка - точка" (независимая конфигурация) с независимым базовым набором служб (Independent Basic Service Set, IBSS) является самой простой в построении и настройке. Чтобы объединить компьютеры в беспроводную сеть, достаточно, чтобы каждый из них имел адаптер беспроводной связи. Как правило, такими адаптерами изначально оснащают переносные компьютеры, что вообще сводит построение сети только к настройке доступа к ней. Обычно такой способ организации используют, если сеть строится хаотично или временно, а также, если другой способ построения не подходит по какимлибо причинам. Режим независимой конфигурации, хоть и прост в построении, имеет некоторые недостатки, главными из которых являются малый радиус действия сети и низкая помехоустойчивость, что накладывает ограничения на расположение компьютеров сети. Кроме того, если нужно подключиться к внешней сети или к Интернету, то сделать это будет непросто.

Беспроводная сеть топологии "точка – много точек" (режим инфраструктурной конфигурации) более перспективный и быстроразвивающийся вариант беспроводной сети.

Она имеет много плюсов, главными из которых являются возможность подключения достаточно большого количества пользователей, более высокая помехоустойчивость, полный контроль подключений и многое другое. Кроме того, есть возможность использования комбинированной топологии и проводных сегментов сети. Для организации беспроводной сети с использованием инфраструктурной конфигурации, кроме адаптеров беспроводной связи, установленных на компьютерах, также необходимо иметь как минимум одну точку доступа (Access Point).

В этом случае конфигурация носит название базового набора служб (Basic Service Set, BSS). Точка доступа может работать как автономно, так и в составе проводной сети и служить мостом между проводным и беспроводным сегментами сети. При такой конфигурации компьютеры

общаются только с точкой доступа, которая и руководит передачей данных между ними (в проводной сети аналогом является концентратор).

Конечно, одной точкой доступа сеть может не ограничиваться, что и случается с ее ростом. В этом случае базовые наборы служб образуют единую сеть, конфигурация которой носит название расширенного набора служб (Extended Service Set, ESS). В этом случае точки доступа обмениваются между собой информацией, передаваемой через проводное соединение или через радиомосты, что позволяет эффективно орг-ть трафик в сети между ее сегментами (фактически точками доступа).

По принадлежности БС делятся на:

- корпоративные (ведомственные) беспроводные сети, создаваемые компаниями для собственных нужд;
- операторские беспроводные сети, создаваемые операторами связи для возмездного оказания услуг.

Классификация БС по названным признакам представлена в Табл. 11.

Табл. 11 – Классификация беспроводных сетей

| **Признак классификации** | **Класс беспроводных сетей** |
|---|---|
| Вид передаваемых данных | Системы передачи речи |
| | Системы передачи аудио данных |
| | Системы передачи видео данных |
| | Системы передачи факсимильных данных |
| | Системы передачи символьных данных |
| Способ обработки входных данных | Цифровые системы |
| | Аналоговые системы |
| Ширина полосы передачи | Узкополосные БС |
| | Широкополосные БС |
| | Сверширокополосные БС |
| Локализация абонентов | Подвижные (мобильные) БС |
| | Фиксированные БС |
| Географическая протяженность | Персональные БС (WPAN) |
| | Локальные БС (WLAN) |
| | Региональные (городские) БС (WMAN) |
| | Глобальные БС (WWAN) |
| Диапазон частот | БС с наземной радиосвязью |
| | Радиорелейные БС. |
| | Спутниковые БС |
| | Оптические атмосферные БС |
| Топология | БС топологии "точка - точка" |
| | БС топологии "точка - много точек" |
| Принадлежность | Корпоративные (ведомственные) БС |
| | Операторские БС |

Источники: Алиев Т.И., Муравьева-Витковская Л.А., Соснин В.В. Технологии беспроводных сетей: учебное пособие / – СПб: ИТМО, 2010. – 127 с. [144].

## ВЫВОДЫ:

1. Беспроводные сети базируются на совокупности двух групп технологий – беспроводной передачи информации и сетевого взаимодействия. Основное преимущество беспроводной передачи информации заключается в отсутствии необходимости прокладки проводов. Это существенно снижает время на организацию сети и затраты на монтаж.
2. С момента своего появления беспроводные связи непрерывно эволюционируют. Возможности, которые предоставляют беспроводные технологии, уже давно вышли за рамки голосовых услуг, получены новые способы обмена данными, в частности через сеть Интернет.
3. С развитием беспроводных сетей и их адаптацией к новым типам устройств и услуг – от интеллектуальных электросчетчиков, автомобилей и бытовых приборов до промышленных объектов – к этим сетям постоянно выдвигаются новые и самые разнообразные требования. Поэтому подход «одна технология для всех» не может быть эффективным для удовлетворения растущего числа потребностей со стороны бизнеса, общества и отдельных пользователей.
4. Благодаря передаче данных с датчиков, граничных и «умных» устройств в интернет появляется возможность подсоединить простейшие устройства к облачным сервисам. По мере развития облачных технологий беспроводные системы связи стали повсеместными, а модели машинного обучения (M2M) нашли новые направления применения в области интернета вещей (IoT).
5. Одним из вариантов подключения пользователей к беспроводным сетям является использование многопрофильных СИМ-карт, в которые предустановлены или загружены профили операторов связи, выбираемые либо посредством мобильного приложения или удаленно. Основным преимуществом многопрофильных СИМ-карт является простая настройка устройства без необходимости вставлять или заменять СИМ-карту.

6. На текущий момент не существует единой классификации беспроводных сетей. Обычно классификация выполняется по конкретным признакам, в качестве которых используется: вид передаваемых данных, способ обработки входных данных, ширина полосы передачи, локализация абонентов, географическая протяженность, диапазон частот, топология и область применения.
7. Существует достаточно обширная область применения беспроводных сетей. Исключительной важностью обладают технологии беспроводной передачи данных на транспорте. Это связано, прежде всего, с тем, что их применение позволяет существенно повысить безопасность, экономичность, комфортность поездок и перевозок.
8. Рассмотрев многочисленные стандарты в области беспроводной связи, можно утверждать о перспективности развития технологий 5G, интернета вещей (IoT) и интеллектуальных транспортных систем (ИТС).
9. Основные тенденции, которые определяют будущие формы и содержание беспроводных сетей, это: повсеместная «цифровизация», модернизация сетей сотовой связи, стремительное развитие интернета вещей (IoT), конвергенция услуг и процессов.

Далее более подробно рассмотрим технологии беспроводной связи, ранжированные по географической протяженности сетей.

# ГЛАВА 2. Обзор технологий беспроводных сетей

## 2.1 Технологии беспроводных персональных сетей

К беспроводным персональным сетям WPAN (Wireless Personal Area Network) относят системы с радиусом действия от сантиметров до нескольких метров (10-15 м). Основное назначение WPAN – замещение кабельной системы для связи оборудования (например, интерфейсных кабелей подключаемых к компьютеру периферийных устройств). Мощность излучения передатчиков, как правило, не превышает 10 мВт. Примерами построения WPAN являются сети на основе стандартов семейства IEEE 802.15 (Bluetooth, ZigBee и др.).

### *Bluetooth*

Bluetooth – это стандарт беспроводной связи, предназначенный для обмена информацией на коротких расстояниях с помощью стационарных и мобильных устройств.

Разработка технологии, позднее названной Bluetooth, началась в 1989 г. в компании Ericsson и была инициирована руководителем компании Нильсом Ридбеком. Изначально целью проекта было создание беспроводной альтернативы для кабелей RS-232, широко использовавшийся в телекоммуникационном оборудовании.

В ходе исследований открылись выдающиеся возможности подобного типа связи. По словам Свена Маттисона, который наряду с Джаапом Хаартсеном занимался разработкой Bluetooth, в компании Ericsson быстро осознали, что стандарт невозможно будет запустить в одиночку. К участию в проекте были привлечены такие IT-гиганты, как Intel, Nokia, IBM и Toshiba. В результате этими пятью компаниями была сформирована некоммерческая организация Bluetooth Special Interest Group (SIG) под эгидой которой в 1998 г. и был выпущен первый стандарт Bluetooth.

На сегодняшний день членами Bluetooth SIG являются более 30 000 предприятий по всему миру. Организация выпустила уже 5 классов спецификаций технологии. Начиная с версии Bluetooth 4.2 было заявлено о поддержке работы в сетях Интернета вещей (IoT), а Bluetooth 5 и вовсе позиционируется организацией, как лидирующая технология в новой волне развития IoT.

Bluetooth работает в частотах ISM-диапазона от 2,4 до 2,485 ГГц. Для повышения уровня эффективности передачи сигнала в Bluetooth используется такой метод расширения спектра, как FHSS (Frequency-hopping spread spectrum) – псевдослучайная перестройка рабочей частоты, что позволяет избегать широкополосных помех.

Спецификация Bluetooth 5.0 (BLE) окончательно ознаменовала ориентацию этой технологии на IoT-рынок. В сравнении с 4.0 была повышена дальность работы – до 240 метров и скорость передачи – до 50 Мбит/сек. Также был усовершенствован режим низкого потребления энергии (при работе в этом режиме, по сравнению с bluetooth 4.2, дальность действия возросла в 4 раза, а скорость вдвое). Уровень энергоэффективности является одним из важных показателей для постройки IoT-соединений.

Три необходимых для работы Bluetooth протокола – это [165]:

- LMP (Link Management Protocol), отвечающий за установку и контроль за соединением между устройствам;
- SDP (Service Discovery Protocol), определяющий услуги, которые предоставляет устройство, и их параметры. Например, этот протокол используется смартфоном при подключении беспроводных наушников, помогая ему определить, какой именно профиль Bluetooth они должны использовать;
- L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) – предназначен для работы с протоколами разного уровня, сбора и отправки пакетов данных.

Проанализировав современное состояние технологии Bluetooth, можно обозначить плюсы и минусы.

К ***достоинствам*** стандарта относятся [166]:

- высокий уровень стандартизации и совместимость между устройствами Bluetooth разных производителей;
- защита передаваемых данных;
- низкая стоимость;
- высокая дальность действия (до 1000 м);
- универсальность и большое разнообразие модулей под разные задачи.

Среди ***недостатков*** отметим:

- относительно высокое энергопотребление (работа от автономных источников питания не всегда возможна);
- относительно невысокая скорость обмена данными (до 1 Мбит/с).

Основное преимущество стандарта Bluetooth заключается в его высоком уровне стандартизации и широчайшем распространении в составе пользовательских электронных устройств. Это позволяет в ряде случаев практически в два раза сэкономить время и затраты на разработку при проектировании некоторой системы сбора данных, телеметрии или управления на основе Bluetooth, поскольку в качестве одной из сторон беспроводного обмена данными может выступать, например, обычный серийно выпускаемый ноутбук или коммуникатор с поддержкой данной технологии.

Исходя из характерных особенностей модулей Bluetooth, сформировались их ***области применения*** [167]:

- Автомобильная электроника. Модули Bluetooth могут использоваться в бортовых автомобильных системах контроля и управления.

- Компьютерная техника и телекоммуникационное пользовательское оборудование: ноутбуки, сотовые телефоны, смартфоны, торговые терминалы со встроенной функцией Bluetooth.
- Системы удаленного управления и телеметрии.

Применение BLE массово только началось. Первоначально эта технология была представлена компанией Nokia в 2006 г. Однако до 2010 г. она являлась неотъемлемой частью стандарта Bluetooth. Сегодня BLE поддерживается большинством производителей смартфонов и компьютеров, а также основными операционными системами [166].

### *Zigbee*

ZigBee – это основанная на стандарте IEEE 802.15.4 спецификация для протоколов верхнего уровня, использующихся для создания персональных сетей беспроводной связи.

В 2003 г. рабочая группа Института инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) приняла IEEE 802.15.4 – технический стандарт для низкоскоростных беспроводных персональных сетей. ZigBee создали на базе именно этого стандарта. Так, ZigBee была разработана открытой некоммерческой организацией ZigBee Alliance, основанной в 2002 г. Первая спецификация – ZigBee 1.0 была утверждена и выпущена в июне 2005 г.

На сегодняшний день членами ZigBee Alliance являются такие крупные компании, как Intel, Siemens, Samsung, Qualcomm. Общее количество членов насчитывает более сотни предприятий. По данным ZigBee Alliance, компаний, занимающихся интеграцией технологий ZigBee, и вовсе более 250. Первым профилем ZigBee, анонсированным в 2007 г., стала домашняя автоматизация («умный дом»).

Скорость передачи данных в сетях ZigBee может составлять от 20 до 250 кбит/сек. Дальность действия – до 100 м. Благодаря низкому уровню энергопотребления сети ZigBee могут работать по несколько лет от одной батареи. Особенностью ZigBee является возможность поддержки ячеистой топологии, что позволяет сети самовосстанавливаться и продолжать передачу пакетов данных при обрыве связи между узлами [165].

Исходя из особенностей стандарта ZigBee, сформулируем его плюсы и минусы [166].

***Достоинства:***

- защита передаваемых данных;
- поддержка сложных беспроводных сетей;
- ультранизкое энергопотребление (возможна автономная работа от батарейки до 10 лет).

***Недостатки:***

- недостаточно высокий уровень стандартизации и отсутствие единой программно-аппаратной платформы для разработки сложных приложений;
- невысокая скорость передачи данных. Большая часть трафика ZigBee тратится на передачу пакетов, содержащих адресную информацию, пакеты синхронизации и т. д. Полезная скорость передачи данных составляет около 30 кбит/с.

Основные ***области применения*** технологии ZigBee [166]:

- Домашние развлечения и контроль — рациональное освещение, продвинутый температурный контроль, охрана и безопасность, фильмы и музыка.
- Домашнее оповещение — датчики воды и энергии, мониторинг энергии, датчики задымления и пожара, датчики удаленного доступа.

- Мобильные службы — мобильные оплата, мониторинг и контроль, охрана и контроль доступа, охрана здоровья и телепомощь.
- Коммерческое строительство — мониторинг энергии, света, контроль доступа.
- Промышленное оборудование — контроль процессов, промышленных устройств, управление энергией и имуществом.

## 2.2 Технологии беспроводных локальных сетей

Беспроводные локальные сети WLAN (Wireless Local Area Network) подразумевают взаимную удаленность устройств на расстоянии до сотен метров и мощности передатчиков до 100 мВт. Это сети, предназначенные для объединения устройств в пределах локальной зоны (здания или группы зданий). На основе стандартов WLAN вполне успешно строят и сети городского масштаба. Примерами WLAN являются сети, построенные на основе стандартов IEEE 802.11 (Wi-Fi).

### *Wi-Fi*

Wi-Fi – технология беспроводной связи для локальных сетей, использующая радиоволны для обмена информацией на высоких скоростях.

Предпосылкой создания технологии Wi-Fi явилось решение правительства США, принятое в 1985 г., о выделении нескольких нелицензируемых диапазонов радиочастот для использования в целях связи. Крупные компании-поставщики оборудования (например, Proxim и Symbol) начали выпускать беспроводные устройства, работающих в этих диапазонах. Для совместимости устройств от разных производителей был необходим единый стандарт, которым и явился Wi-Fi. В 1997 г. некоммерческая организация IEEE выпустила первую спецификацию Wi-Fi, обеспечивающую скорость передачи данных 2 Мбит/с. Данный стандарт был очень длинным, и в 1999 г. шесть компаний: Nokia, Intersil, Aironet, 3Com, Symbol и Lucent,

объединились для создания международной организации Alliance Wireless Compatibility Alliance WECA, ныне Wi-Fi Alliance.

Являясь одной из самых распространенных технологий, в настоящее время Wi-Fi активно используется в умных домах для подключения к Интернету вещей (IoT), получения данных с различных датчиков и управления ими со смартфона.

Принцип работы технологии Wi-Fi заключается в использовании радиоволн частотой 2,4МГц и 5 МГц для передачи данных между адаптером и маршрутизатором в сети. В России используются 13 частотных каналов в 2,4 ГГц диапазоне и 4 частотных полосы в сумме с 23 каналами в 5 ГГц диапазоне. На сегодняшний день существует множество стандартов Wi-Fi, различающихся своими техническими характеристиками: расстоянием, скоростью и т.д. Наиболее популярными являются стандарты 802.11b,g,n,ac. Стандарт 802.11a не получил должного распространения в странах Европы и России. Стандарты 802.11b,g работают на частоте 2,4 ГГц со скоростями передачи данных 11 Мбит/с и 54 Мбит/с соответственно. 802.11n был утвержден в 2009 г. и может работать как на частоте 2,4 ГГц, так и 5 ГГц, используя ортогональное частотное мультиплексирование сигнала (как и 802.11g). Максимальная скорость передачи составляет 600 Мбит/с (4 принимающих антенны), 150 Мбит/с (1 принимающая антенна). Стандарт 802.11ac использует частоту 5 ГГц и позволяет передавать данные со скоростью 1,3 Гбит/с.

Топологии Wi-Fi [165]:

- Ad-Hoc – устройства связываются непосредственно друг с другом;
- Basic Service Set (BSS) – устройства связываются, используя точку доступа;
- ESS – Extended Service Set – обеспечивает взаимодействие нескольких точек доступа.

Наиболее популярными протоколами шифрования являются WPA и WPA2.

Сформулируем некоторые ключевые особенности стандарта Wi-Fi. К его ***достоинствам*** относятся [166]:

- высокая скорость передачи данных;
- компактность;
- большое разнообразие модулей под разные задачи;
- высокий уровень стандартизации и совместимость между устройствами Wi-Fi разных производителей;
- защита передаваемых данных.

Основные ***недостатки*** таковы:

- большое энергопотребление и невозможность работы в течение длительного времени от автономных источников питания;
- относительно высокая стоимость (по сравнению с Bluetooth).

Характерные особенности стандарта Wi-Fi диктуют основные ***области применения*** [166]:

- Автомобильная электроника. Модули Wi-Fi могут применяться в системах мониторинга автотранспорта и в бортовых автомобильных системах, поскольку тут практически отсутствуют ограничения по потреблению энергии.
- Системы удаленного управления и телеметрии. Главные преимущества – высокая скорость передачи данных и высокий уровень стандартизации.
- Компьютерная и офисная техника. Построение компьютерных сетей для обмена большими потоками данных с высоким уровнем безопасности.

## 2.3 Технологии беспроводных городских сетей

Беспроводные городские сети WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) – беспроводные сети для организации связи в масштабах города (до 50 км). WMAN являются логичным развитием WLAN, обеспечивают более высокие скорости передачи данных и более широкую область покрытия. Как правило, такие сети предназначены для обеспечения беспроводной связи между домами, а также как альтернатива традиционным проводным сетям. К сетям городского масштаба (региональным) можно отнести множество сетей использующих различные технологии – это и наземное теле- и радиовещание, сотовая связь, транковые системы. Примерами WMAN являются сети, построенные на основе стандарта IEEE 802.16 (WiMAX).

### *WiMAX*

К концу 90х гг. многие телекоммуникационные корпорации и фирмы во всем мире занялись созданием беспроводных сетей, обеспечивающих решение проблемы «последней мили» и предоставляющих широкополосный доступ на расстоянии до нескольких десятков км от базовой станции.

Почти все фирменные решения, основанные на неких внутренних, проприетарных стандартах, страдали такими недостатками, как дороговизна оборудования и его несовместимость с оборудованием других производителей, что сильно ограничивало рыночный потенциал таких систем.

Подобное положение не могло долго устраивать участников рынка, поэтому в 2003 г. компаниями Nokia, Harris Corp., Ensemble и Crosspan был основан некоммерческий консорциум Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum (WiMAX Forum), в который на сегодня входит более 300 компаний - производителей современного телекоммуникационного оборудования.

WiMAX Forum занимается решением следующих вопросов [168]:

- определение и гармонизация стандартов;
- сертификация взаимодействия оборудования различных поставщиков;
- продвижение технологии WiMAX.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов) [169]. По ряду показателей, таких как пропускная способность, покрытие территории и предоставляемые услуги, WiMAX превосходит стандарт Wi-Fi, позволяя при развитой инфраструктуре строить региональные, национальные и даже глобальные сети [170].

На физическом уровне в стандарте WiMAX применяют две принципиально разные технологии. Данные можно передавать, модулируя одну несущую частоту (SC – Single Carrier) или множество поднесущих – технология OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). В режиме SC к радиоканалам предъявляют те же требования, что и в радиорелейных сетях: использование только прямых лучей и применение узконаправленных антенн, подавление всех отраженных лучей с целью устранения межсимвольной интерференции. В связи с этим технологию SC невозможно использовать в сетях массового пользования с многолучевым распространением радиоволн в каналах связи.

Переход к технологии OFDM произошел в 2004 г. при появлении нового стандарта WiMAX: 802.16-2004. Данная технология позволяет устранить межсимвольную интерференцию. В следующей версии стандарта были существенно изменены параметры OFDM. В частности, перешли к масштабируемой OFDM: число используемых поднесущих стало зависеть от

рабочей полосы (SOFDM), а абоненту стали выделять определенное число подканалов (SOFDMA – Scalable OFDM Access). Также появилась возможность реализации хэндоверов. Данному варианту стандарта WiMAX дали название мобильного WiMAX или стандарта 802.16e. Вариант 802.16e является базовым в действующих сетях WiMAX. Последние несколько лет его постоянно усовершенствовали. Например, он был дополнен стандартами 802.16i и 802.16j. Последний позволяет расширять существующие сети, применяя ретрансляторы.

В 2011 г. был утвержден новый вариант стандарта WiMAX – 802.16m. Он предназначен для построения сетей с пропускной способностью выше 100 Мбмит/с и для реализации ряда новых перспективных услуг [170].

Выделяют следующие преимущества и недостатки стандарта WiMAX:

– ***Преимущества:***
  - Зона покрытия (несколько километров);
  - Надежность;
  - Высокая пропускная способность.

– ***Недостатки:***
  - Дорогостоящее оборудование и обслуживание;
  - Низкая точность позиционирования.

## 2.4 Технологии беспроводных глобальных сетей

Беспроводные глобальные сети WWAN (Wireless Wide Area Network). представлены в основном спутниковыми системами связи. Однако с учетом того, что, например, практически все сети сотовой связи, так или иначе, связаны друг с другом, и все они разрабатываются с учетом возможности взаимодействия, можно говорить и о глобальных сотовых сетях.

В глобальных сотовых сетях используются беспроводные технологии сотовой связи, представленные следующими поколениями.

### *1G*

Системы первого поколения (1G, 1981 г.) были аналоговыми, реализованными на достаточно надежных сетях, но с ограниченной возможностью предложения услуг абонентам. Кроме того, они не позволяли осуществлять роуминг между сетями, т. е. абоненты с одной SIM-картой не могли получать услуги в сетях разных операторов. К системам первого поколения относятся: AMPS (Advanced Mobile Phone Service – «усовершенствованная подвижная телефонная служба») и NMT (Nordic Mobile Telephone – «северный мобильный телефон», распространяемая в странах Скандинавии и ряде других стран), которые были позднее практически полностью вытеснены стандартом GSM. Минусы — отсутствие безопасности (канал легко прослушивался), трудности с роумингом, малая емкость, большая дальность действия (около 30 км), что в условиях мегаполиса является недостатком, затрудняющим переиспользование частот.

### *2G /GSM/GPRS/ EDGE*

В 1982 г. CEPT (франц. Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications – Европейская конференция почтовых и телекоммуникационных ведомств) сформировала рабочую группу, названную специальной группой по подвижной связи GSM (франц. Groupe Spécial Mobile) для изучения и разработки Европейской наземной системы подвижной связи общего применения – второе поколение систем сотовой телефонии (2G). Название рабочей группы GSM также стало использоваться в качестве названия системы подвижной связи. В 1989 г. обязанности CEPT были переданы в Европейский институт стандартов в телекоммуникации ETSI (англ. European Telecommunications Standards Institute).

Первые мобильные сети второго поколения (2G) появились в 1991 г. Их основным отличием от сетей первого поколения стал цифровой способ передачи информации. Они привнесли существенные преимущества с точки зрения предложения абонентам усовершенствованных услуг и качества

связи. При строительстве сетей второго поколения Европа пошла путем создания единого стандарта – GSM (Global System for Mobile Communications – «глобальная система мобильной связи»), в США большинство 2G-сетей было построена на базе стандарта D-AMPS (Digital-Advanced Mobile Phone Service – «цифровая усовершенствованная подвижная телефонная служба»). Наибольшее распространение при этом получил стандарт GSM, включающий диапазоны следующих частот: 850, 900, 1800, 1900 МГц [163, 170].

Возросшая потребность в беспроводном доступе в Интернет привела к дальнейшему развитию системы 2G. Так появилась система, называемая 2.5G (2000 г.). Примером технологии 2.5G является GPRS (General Packet Radio Services – «пакетная радиосвязь общего пользования») – стандартизованная технология пакетной передачи данных, позволяющая использовать оконечное устройство мобильной связи для доступа в Интернет. Позже была внедрена технология EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), что позволило повысить скорость передачи данных до сотен килобит в секунду. Другим появившимся в данном стандарте сервисом является SMS (услуги службы коротких сообщений) [163].

В настоящее время стандарты GSM / GPRS / EDGE используются в таких устройствах телеметрии, как различные виды счетчиков, торговые автоматы, банкоматы, охранные и пожарные сигнализации, системы навигации, управления технологическими процессами, контроля за удаленными и подвижными объектами [171].

Стандарты 2G на протяжении многих лет были основными при построении систем мобильной связи. Именно GSM дала большой толчок к появлению сетей сотовой связи по всему миру. Однако со временем набор услуг, которые могли предложить стандарты 2G, оказался недостаточным. Кроме того, применяющиеся в данном стандарте технологии передачи данных перестали удовлетворять пользователей сети по скорости.

### *3G / UMTS*

Дальнейшим развитием сетей мобильной связи стал переход к третьему поколению (3G, 1999 г.). 3G – это стандарт мобильной цифровой связи, также известный под аббревиатурой IMT-2000 (англ. International Mobile Telecommunications – «международная мобильная связь 2000»), опубликованный Международным союзом электросвязи (МСЭ) как набор минимальных критериев для сети сотовой связи третьего поколения. Стандарт IMT-2000 дает четкое определения сетей 3G – под мобильной сетью третьего поколения понимается интегрированная мобильная сеть, которая обеспечивает: для неподвижных абонентов скорость обмена информацией не менее 2048 кбит/с, для абонентов, движущихся со скоростью не более 3 км/ч – 384 кбит/с, для абонентов, перемещающихся со скоростью не более 120 км/ч – 144 кбит/с. При глобальном спутниковом покрытии сети 3G должны обеспечивать скорость обмена не менее 64 кбит/с. Сети 3G позволяют осуществлять связь, обмен информацией и предоставлять различные развлекательные услуги, ориентированные на беспроводное оконечное устройство (терминал) [169, 170].

Технология UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) была разработана для модернизации сетей GSM и получила широкое распространение не только в Европе, но и во многих других регионах мира.

Переход к 3G – это расширение полосы сигнала и усложнение модуляции, применение многофазного и многоуровневого способа кодирования, что позволило значительно увеличить скорости передачи данных, а следовательно, использовать технологии с такими направлениями, как беспроводные банкоматы, торговые автоматы, системы навигации транспорта, беспроводное охранное оборудование, беспроводные системы контроля расхода воды, тепла, газа, электричества и другие промышленные системы автоматизации [175]. Однако даже такая скорость передачи данных удовлетворяла потребности пользователя сети лишь до появления четвертого поколения мобильной связи.

### *4G / LTE*

В 2008 г. МСЭ определил ряд требований для стандарта международной подвижной беспроводной широкополосной связи 4G, получившего название спецификаций International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced), в частности установив требования к скорости передачи данных для обслуживания абонентов: скорость 100 Мбит/с должна предоставляться высокоподвижным абонентам (например, автомобилям), а абонентам с небольшой подвижностью (например, пешеходам) должна предоставляться скорость 1 Гбит/с [170].

Стандарт сети 4G предполагает предоставление услуг посредством протокола IP и подразумевает под собой в первую очередь технологию LTE (Long-Term Evolution). Конечно, это не единственный стандарт 4G, но именно он получил набольшее распространение. Согласно исследованиям, в мире к концу 2015 г. насчитывалось приблизительно 400 коммерчески используемых сетей LTE в более чем 138 странах мира [176]. С каждым годом количество сетей LTE увеличивается, соответственно растут возможности потребителей (см. Рис. 18).

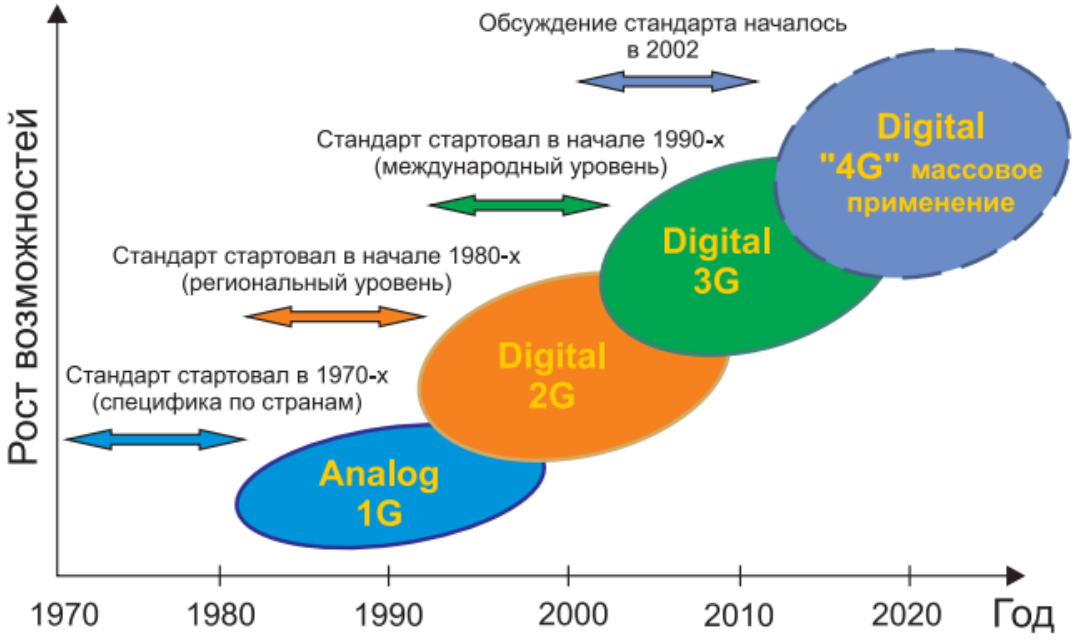



Рис. 18 – Эволюция глобальных беспроводных сетей (1G-4G)

Источник: Трофимова Е. Из LTE в 5G: трудности переходного возраста / Беспроводные технологии. – 2017. – №2. – С.10-13 [177].

LTE – проект развития радиостандартов UMTS 3G, которым занимается группа 3GPP [178]. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к устройствам IoT, работающих в сетях LTE, консорциум 3GPP стандартизовал три основные технологии с лицензированным использованием спектра [167]:

- LTE категории M1 (eMTC) эволюционное развитие LTE, оптимизированное под IoT. Первая версия MTC появилась в 3GPP rel. 12 и получила свое развитие в rel. 13. В 14 релизе планируется поддержка позиционирования, групповое вещание, улучшение мобильности, увеличение скорости передачи данных, а также расширение циклов энергосбережения (C-DRX и I-DRX).
- NB IoT (Narrow Band IoT) технология узкополосного (шириной 180 кГц) радиоинтерфейса. Стандартизация начата в rel. 13 3GPP и продолжается по сей день. В планах развития позиционирование, групповое вещание, снижение энергопотребления и излучаемой мощности, сокращение задержки распространения информации и расширение циклов энергосбережения.
- EC-GSM представляет собой эволюцию сетей GSM с прицелом на использование в IoT. Технология была стандартизована в rel. 13 3GPP, но до сих пор не получила серьезной поддержки производителей как сетевого оборудования, так и оконечных устройств. Причинами, по-видимому, являются менее эффективное использование частотного спектра, наименьшая скорость передачи данных, а также ограниченный частотный ресурс сетей GSM. В дальнейшем наработки по EC-GSM будут использованы для развития NB IoT.

### *5G / 5G NR*

Как было отмечено в Главе 1, системы пятого поколения (5G) – перспективный стандарт мобильной связи, пришедший на смену 4G/LTE. В 2015 г. ITU провозгласил официальное имя стандарта пятого поколения – IMT-2020.

В марте 2017 г. состоялось рабочая встреча 3GPP RAN, на которой был представлен перспективный план ускоренного развития (Way Forward), подразумевающий создание новых радио-технологий, объединенных под общим названием 5G New Radio (NR). Этапы плана показаны на Рис. 19.

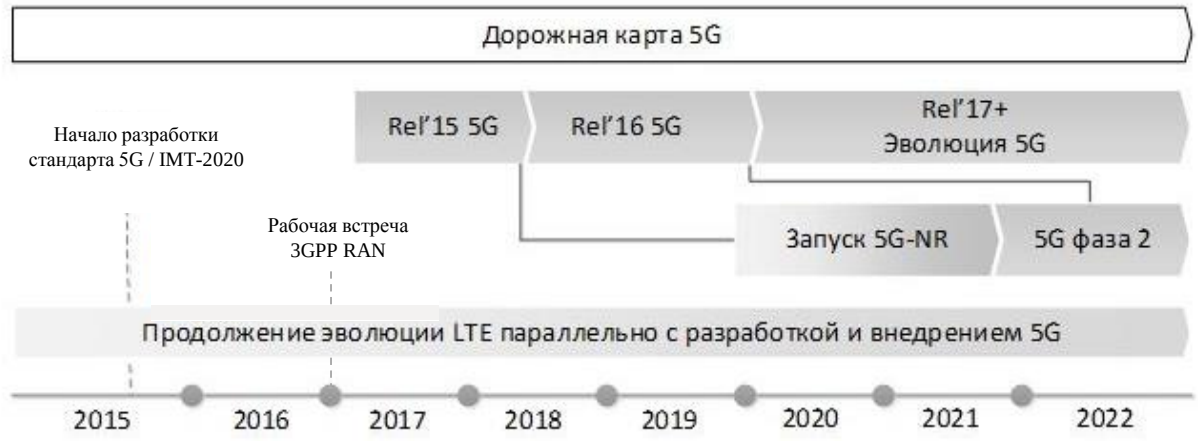



Рис. 19 – Перспективный план ускоренного развития 5G NR

Источник: Официальный сайт портала о современных технологиях мобильной и беспроводной связи / – Режим доступа: http://1234g.ru (дата обращения: 28.11.2019) [170].

Стандарт 5G NR определяет новые частотные диапазоны ниже 6 ГГц и предполагает дальнейший переход на частоты миллиметрового диапазона длин волн (mmWave), где доступны более широкие и непрерывные полосы частот для организации каналов связи с большой пропускной способностью. Для предоставления полного перечня возможностей для потребителей и покрытия по всему миру требуется согласованное применение частотного спектра во всех регионах. Стандарт 5G NR регламентирует использование частот до 52,6 ГГц с общей занимаемой полосой радиочастот сигналов (поддиапазонов) порядка 10 ГГц [171]:

1. Диапазон 1: 400 МГц…6 ГГц добавляет полосу частот 1,5 ГГц с поддиапазонами 3,3–4,2 ГГц, 3,3–3,8 ГГц, 4,4–5 ГГц.
2. Диапазон 2: 24,25–52,6 ГГц добавляет полосу частот 8,25 ГГц с поддиапазонами 26,5–29,5 ГГц, 24,25–27,5 ГГц, 37–40 ГГц.

В ключевых регионах уже проводились исследования и испытания на некоторых поддиапазонах ниже 6 ГГц, а на частотах сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн уже были развернуты участки сетей и проведены пробные запуски, как показано в Табл. 12.

Табл. 12 – Испытания и пробное развертывание сетей 5G на частотах до 6 ГГц и выше, вплоть до миллиметрового диапазона

| | Ниже 6 ГГц | | | | | | Миллиметровый диапазон | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Частотный спектр** | 0,6 ГГц | 2,5 ГГц | 3,4–3,7 ГГц | | | 4,4–4,9 ГГц | 28 ГГц | | 39 ГГц | 64–71 ГГц 71–76 ГГц |
| **Регионы** | США | США | Европа | Китай | Япония, Южная Корея | Япония | США | Япония | США | уточняется |
| **Развертывание услуг на коммерческой основе** | 2019 год | к концу 2019 года | уточняется | 2020 год | 2020 год | середина 2020 года | 2018 год | после 2020 года | 2018 год | уточняется |

Источник: Соковишин М. Проектирование средств радиосвязи стандарта 5G New Radio – проблемы и пути решения. Спектры сигналов миллиметрового диапазона длин волн / Беспроводные технологии. – 2018. – №4. – С.52-55 [171].

Согласно Табл. 12 в диапазоне до 1 ГГц имеется несколько поддиапазонов, которые планируется задействовать для нужд устройств «Интернета вещей» (IoT). Это частоты порядка 600, 700 и 800 МГц. Диапазон 1–6 ГГц будет использоваться для увеличения зон покрытия и пропускной способности сетей. Основной диапазон для Китая, Европы, Кореи и Японии – 3,3-3,8 ГГц – может быть задействован для внедрения множества различных сервисов связи стандарта 5G. Также в Китае и Японии рассматривается использование диапазона 4,4-4,9 ГГц. Диапазон свыше 6 ГГц в основном будет задействован для тех случаев, когда требуются очень широкополосные сигналы. Начальные целевые частоты миллиметрового диапазона для Японии и США – 28 и 39 ГГц. Несмотря на то, что спецификации стандарта 5G NR версии 15 предполагают использовать частоты до 52,6 ГГц, уже начаты исследования для внедрения будущих версий стандартов, в которых планируется задействовать частотные поддиапазоны 64-71 и 71-76 ГГц.

По аналогии со стандартом LTE для формирования широкополосных сигналов могут использоваться многокомпонентные несущие, причем для диапазона 2 (см. Табл. 13) полоса частот может составлять до 800 МГц. Объемы применения частотного спектра будут определяться различными странами индивидуально. Пока разработана только стартовая версия стандарта 5G NR, и ожидается, что с более поздними версиями будут продолжены намеченные тенденции эксплуатации частотного спектра, расширения полос пропускания и совершенствования используемых сигналов с учетом новых задач и целевых сценариев использования [171].

Табл. 13 – Спецификации частотных диапазонов и типов сигналов стандарта 5G NR

| | |
|---|---|
| **Частота** | Диапазон 1: 450 МГц – 6 ГГц; диапазон 2: 24,25–52,6 ГГц |
| **Максимальная полоса несущей** | Диапазон 1: до 100 МГц; диапазон 2: до 400 МГц |
| **Частотный интервал между поднесущими** | Ниже 6 ГГц: 15, 30, 60 кГц; >6 ГГц: 60, 120, 240 кГц |
| **Максимальное количество поднесущих** | 3300 (до 4096 с БПФ) |
| **Объединение несущих** | до 16 несущих при максимальной полосе до 800 МГц |
| **Тип сигналов и модуляции** | CP-OFDM (UL/DL): QPSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM; DFT-s-OFDM (UL): $\pi/2$-BPSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM |
| **Применение технологии пространственного кодирования MIMO (множественный вход – множественный выход)** | 8×8 MIMO; до 8 уровней в нисходящем канале и до 4 – в восходящем |

Источник: Соковишин М. Проектирование средств радиосвязи стандарта 5G New Radio – проблемы и пути решения. Спектры сигналов миллиметрового диапазона длин волн / Беспроводные технологии. – 2018. – №4. – С.52-55 [171].

На основе вышесказанного можно выделить следующие преимущества технологий 5G [172]:

- Представление в режиме реального времени. Быстрое время отклика, малое время ожидания и задержка, высокая доступность.
- Критически важная инфраструктура. Высокая надежность, приоритетный доступ, очень широкая зона покрытия.
- Высокоскоростная широкополосная связь. Гигабитные скорости передачи данных, высококачественное покрытие.
- M2M / IoT. Больше подключенных устройств, качественное покрытие внутри зданий.
- Виртуализированная инфраструктура. Масштабируемость, низкая стоимость систем.

Различие технических характеристик мобильных сетей приведены в Табл. 14.

Табл. 14 – Типы сотовых соединений

| **Тип соединения** | **1G** | **2/2,5G** | **3G** | **4G** | **5G** |
|---|---|---|---|---|---|
| Время изобретения | 1979 | 1999 | 2002 | 2010 | 2020 |
| Спецификация | Нет сведений | Нет сведений | IMT-2000 | IMT-Advanced | IMT-2020 |
| Спецификация | Нет сведений | Нет сведений | От 400 МГц до 3 ГГц | От 450 МГц до 3,6 ГГц | Неизвестно |
| Спецификация ширины/ пропускаемое канала связи | Нет сведений | Нет сведений | В движении: 348 Кбит/с. в уст. положении: 2 Мб/с | В движении: 100 Мб/с. В уст. положении: 1 Гбит/с | Min Down: 20 Гбит/с. Min Up: 10 Гбит/с |
| Стандартная ширина/ | 2 Кбит/с | 14,4-64 Кбит/с | От 500 до 700 Кбит/с | От 100 до 300 Мб/с (максимум) | Неизвестно |
| Эксплуатация/ Характеристики | Только мобильная телефония | Цифровая речь, SMS- сообщения автоматический определитель номера. Односторонняя передача данных | Более совершенное аудио, видео и передача данных. Расширена зона роуминга | Единый IP, Бесперебойная работа LAN/WAN/WLAN | Интернет вещей, сверхплотность каналов связи, низкое время ожидания подключения |
| Стандарты и мультиплекси-рование | Усовершенствованная служба мобильной связи (AMPS) | 2G: TDMA, CDMA, GSM; 2,5G: GPRS, EDGE, lxRTT | FDMA, TDMA, WCDMA, CDMA-2000 | CDMA | CDMA |
| Хэндовер | Горизонтальный | Горизонтальный | Горизонтальный | Горизонтальный и вертикальный | Горизонтальный и вертикальный |
| Базовая сеть | ТСОП | ТСОП | С пакетной коммутацией | Интернет | Интернет |
| Коммутация | Соединение с коммутацией каналов | Соединение с коммутацией каналов в сети доступа и радиосети | Пакетная, за исключением радиоинтерфейса | Пакетная | Пакетная |
| Технология | Аналоговая Сотовая | Цифровая Сотовая | Широкополосная CDMA, WiMAX, IP-протокол | LTE Advanced Pro-based | LTE Advanced Pro-based mm Wave |

## 2.5 Технологии энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия

Энергоэффективные сети дальнего радиуса действия LPWAN (Low-power Wide Area Network) – беспроводные сети передачи небольших по объёму данных на дальние расстояния, разработанные для распределённых сетей телеметрии, межмашинного взаимодействия (M2M) и интернета вещей (IoT). LPWAN является одним из типов беспроводных сетей, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счётчиков и сенсоров. Примерами таких сетей являются NB-IoT, LoRa, Sigfox. Рассмотрим их более подробно.

### *NB-IoT*

В 2014 г. компания Huawei приобрела британскую компанию Neul, занимающуюся приложениями IoT, и начала сотрудничество с Ericsson для продвижения стандарта под названием NB-IoT (другое название LTE-M2).

Разработкой стандартов технологии LPWAN занимается организация 3GPP. К настоящему времени в это семейство входят EC-GSM-IoT, LTE MTC Cat M1 и NB-IoT. Технология NB-IoT была стандартизована в июне 2016 года в 13 релизе 3GPP.

Компании, принимающие участие в разработке, внедрении NB-IoT и использующие ее: Huawei, Ericsson, Qualcomm, Vodafone, Orange, Cisco, Nokia, в России – Мегафон, МТС.

Технология NB-IoT может быть развернута на базе 2G, 3G, 4G, соответственно на частотах от 450 МГц до 3,5 ГГц. В стандарте в качестве предпочтительной частоты для приложений IoT с хорошим покрытием указана частота 2 ГГц. Полоса частот составляет 180 кГц для внутриполосного развертывания и 200 кГц для автономного развертывания.

- скорость: пиковая скорость нисходящего потока равна 250 кбит/с;
- расстояние: до 22 км;
- срок работы без замены батареи: до 10 лет.

NB-IoT поддерживает следующие режимы развертывания:

- автономное развертывание: использование любых доступных частот, например, реорганизация спектра GSM;
- работа в защитной полосе на базовых станциях LTE: использование частот защитных блоков LTE;
- внутриполосная работа: на несущей частоте LTE.

***Кейсы:*** услуги ЖКХ (мониторинг расходов газа и воды, отслеживание и контроль трубопроводов и т.д), логистика, промышленность (управление и диагностика оборудования), «умный» дома и «умный» город [165].

### *LoRa*

Название LoRa является сокращением от слов Long Range Radio, что в переводе с английского означает дальняя радиосвязь. Данный стандарт был разработан американскими компаниями Semtech и IBM Research весной 2015 г. и предназначен главным образом для сетей M2M и IoT. 16 июня 2015 г. была выпущена спецификации протокола LoRaWAN v.1.0.

Для поддержки этой технологии была создана открытая некоммерческая организация LoRa Alliance, целью которой является стандартизация LoRaWAN для его совместимости с существующими сетями с низким энергопотреблением. По словам LoRa Alliance, всего несколько станций с LoRaWAN смогут обеспечить покрытие в пределах целых городов или даже стран. LoRa Alliance включает в себя такие ведущие компании Северной Америки, Европы, Африки, Азии, как Cisco, IBM, Semtech, Singtel, российская компания Lace и другие.

Основные характеристики LoRa:

- радиус действия: до 5 км в городе, до 15 км вне населенного пункта;
- скорость: до 50 кбит/с;
- срок службы без замены батареи: до 10 лет;

- используемые частоты: 902 – 928 МГц (США), 863 – 870 МГц и 433 МГц (Европа), 779 – 787 МГц и 470 – 510 МГц (Китай), 915 – 928 МГц (Австралия).

При построении сети на основе данного стандарта используется топология «звезда», то есть имеются центральные сервера и оконечные устройства, которые подключаются к нескольким серверам при помощи шлюзов. В целях экономии потребления электроэнергии оконечными устройствами сервер использует адаптивную подстройку скорости и частоты с учетом внешних факторов и характеристик сети. В целях безопасности технология LoRa имеет несколько уровней шифрования данных [165].

LoRaWAN имеет несколько классов конечных устройств [165]:

- класс A – оконечные устройства с двусторонним соединением: передача данных по восходящей и нисходящей линиям связи в любой момент времени по мере необходимости;
- класс B – оконечные устройства с определенными интервалами приема: оконечное устройство может принимать данные от сервера в заранее известные промежутки времени;
- класс C – оконечные устройства с максимально возможным интервалом приема: оконечные устройства практически непрерывно готовы принимать данные, однако во время передачи окно приема закрывается.

LoRa активно ***используется*** в таких сферах, как [165]:

- ЖКХ – автоматическое считывание в реальном времени показаний со счетчиков, установленных в домах;
- здравоохранение – считывание данных с датчиков, установленных на теле человека, например, пульсометр, датчик температуры, давления и т.п.;

- сельское хозяйство – контроль за влажностью и щелочностью почвы, температурой, освещенностью;
- приложения умного дома – управление различными системами внутри здания.

### *Sigfox*

Технология SigFox была изобретена и запатентована в 2009 г. французской компанией с одноименным названием. Сейчас офис компании располагается на юге Франции недалеко от города Тулуза. Первая сеть SigFox была развернута во Франции в 2012 г., а к 2014 г. было обеспечено общенациональное покрытие страны.

К 2015 г. SigFox планировала выйти на американский рынок, но столкнулась с проблемами в разрешенном в США частотном диапазоне, т.к. частотный диапазон, используемый в США более подвержен помехам, нежели европейский диапазон. В то же время технология SigFox распространилась на страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Политика SigFox подразумевает предоставление открытой информации о необходимом для построения сети аппаратном обеспечении (базовых станциях и модулях), при этом программное обеспечение является закрытым и продается операторам как услуга. В настоящее время SigFox присутствует в более чем 60 странах. Однако в России сети SigFox еще нет.

Для передачи данных SigFox использует ультра-узкую полосу частот (Ultra- Narrow Band, UNB) с двоично-фазовой манипуляцией (BPSK), а для кодирования данных меняет фазу несущей радиоволны. Это позволяет уменьшить уровень шума на принимающей стороне, следовательно, сделать принимающие устройства более дешевыми.

- радиус действия: 30-50 км (3-10 км в зашумленных и труднодоступных районах);
- срок службы устройств без замены батареи: 20 лет от 2-х батареек типа AA;

- используемые частоты: 868 МГц (Европа) и 902 МГц (США);
- топология сети: звезда (базовая станция, к которой подключаются конечные точки).

Существующий стандарт SigFox определяет максимальное количество сообщений от базовой станции до конечного устройства в день: 140 сообщений, при этом каждое сообщение должно быть размером не более 12 байт (исключая заголовок сообщения и информацию о передаче). И также количество сообщений, исходящих от конечного устройства: 4 сообщений в день с полезной нагрузкой 8 байт.

***Кейсы применения***: для связи между устройствами, не требующими большого потребления энергии и генерирующего небольшое количество трафика в день, например, «умные» счетчики, датчики освещенности, системы пожарной и охранной сигнализации датчики «умных» [165].

Непосредственное отношение к технологиям связи имеют технологии связи на транспорте (ITS-G5/DSRC и C-V2X (LTE-V2X)) и технология управления мобильными подписками многопрофильных сим-карт (eUICC). Рассмотрим их более подробно.

## 2.6 Технологии беспроводной связи на транспорте

### 2.6.1 Технология ITS-G5/DSRC

Как было отмечено в Главе 1, можно выделить три основных региона, в которых успехи в области DSRC наиболее существенны. Это прежде всего США, Европа и Япония.

История DSRC началась в 1991 г., когда в США была создана комиссия по «интеллектуализации» дорожного движения (Intelligent Transportation Society, ITS America). В 1999 г. Федеральная комиссия по связи США (FCC) выделила 75 МГц в диапазоне 5,9 ГГц (5,875–5,925) для беспроводных сетей малого радиуса действия, использование которых было предусмотрено

исключительно в целях обеспечения безопасности дорожного движения. Их основой стали технологии коммуникаций транспортных средств на ближних расстояниях WAVE (Wireless Access for the Vehicular Environment – «беспроводной доступ для транспортной среды») [16].

В Табл. 15 сравниваются DSRC/WAVE с возможностями других беспроводных технологий.

Табл. 15 – Сравнение DSRC/WAVE
с возможностями других беспроводных технологий

| | DSRC/WAVE | Wi-Fi | Сотовые | Мобильный WiMAX5 |
|---|---|---|---|---|
| Скорость передачи данных | 3–27 Мбит/с | 6–54 Мбит/с | < 2 Мбит/с | 1–32 Мбит/с |
| Латентность | < 50 мс | секунды | секунды | – |
| Дальность действия | < 1 км | < 100 м | < 10 км | < 15 км |
| Мобильность | < 250 км/ч | < 20 км/ч | > 250 км/ч | > 250 км/ч |
| Номинальная пропускная способность | 10 МГц | 20 МГц | < 3 МГц | < 10 МГц |
| Частоты | 5,875–5,925 ГГц | 2,4 ГГц, 5,2 ГГц | 800 МГц, 1,9 ГГц | 2,5 ГГц |
| Стандарт IEEE | 802.11p | 802.11a | – | 802.11e |

Источник: Евстигнеев И.А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России / – М.: Изд-во «Перо», 2015. – 164 с. [23].

Коммуникационные протоколы для V2X стандартизированы IEEE. Физический и MAC-уровни определены в спецификации IEEE P802.11p. Верхние уровни описываются группой протоколов IEEE 1609x, которые в совокупности образуют WAVE.

Европейская стандартизация под эгидой ESTI получила название ITS-G5 и отличается от WAVE в основном в верхних слоях архитектуры. Тем не менее, она также основана на стандарте IEEE 802p. Важными являются различия в структуре приема-передачи станции ITS-G5 и WAVE.

В ЕС выделена полоса шириной 30 МГц в диапазоне 5,9 ГГц. Возможно также использование 20 МГц в промышленной, научной и медицинской полосах частот ниже 5,875 ГГц.

Японский стандарт 5,8 ГГц DSRC значительно отличается от американской технологии WAVE 5,9 ГГц, так как он используется только для

взаимодействия автомобилей с придорожным оборудованием. Для V2V-коммуникаций выделено 10 МГц в диапазоне 700 МГц.

Современные устройства DSRC, работающие на частоте 5,9 ГГц, стараются выпускать с комплексной поддержкой американского стандарта WAVE и европейского ITS-G5, классических стандартов IEEE 802.11p, IEEE 1609 (IEEE 1609.2, IEEE 1609.3, IEEE 1609.4, IEEE 1609.11). Сообщения, как правило, идут в соответствии с набором, определенным в стандарте SAE J2735 [16].

На текущий момент на ранней стадии разработки находится следующая версия IEEE 802.11bd, основанная на IEEE 802.11ac и обратно совместимой с 802.11p. Планируется улучшение работы в среде с большой плотностью источников сигнала, увеличение пропускной способности до более чем 1Гб/с, возможность работы со слабыми сигналами мощностью 3Дб для увеличения радиуса действия, поддержка определения позиционирования, увеличение относительной максимальной скорости до 500 км/ч [124].

### 2.6.2 Технология C-V2X (LTE-V2X)

LTE-V2X – текущая имплементация спецификаций для C-V2X. На ранней стадии находится 5G NR-V2X. Разработку релизов сотовых технологий координирует 3GPP для обеспечения, по возможности, прямой и обратной совместимости версий стандартов сотовой связи друг с другом. Обратная совместимость стандартов сотовой связи обязательна согласно директиве Еврокомиссии по стандартизации M/453 и дополнительно ITS Directive 2010/40/EU. Однако 5G NR-V2X и LTE-V2X не имеют обратной совместимости. При разработке нового релиза выявлено, что LTE-V2X не имеет достаточного уровня проникновения, чтобы поддерживать обратную совместимость.

Релиз 8 3GPP, известный как LTE, вышел в 3 декабря 2009 г. Релиз 10 3GPP: LTE-Advanced вышел в 2011 г., Релиз 14 3GPP: LTE-V2X – в 2014 г.

Поколение 5G начинается с Релиза 15. В релизном расписании 3GPP есть проекты, которые делятся на 3+ фазы, которые почти полностью совпадают с релизами, фазы делятся на 3+ стадии. В каждом случае фаза/релиз с промежуточным индексом 1, 2, 2+ – это спецификации. Индекс 3 означает имплементацию стандартов на физическом уровне. Релизы разрабатываются частично-параллельно – разработка следующего начинается раньше релиза предыдущего. В некоторых случаях может быть добавлена стадия 4, которая относится к тестовым спецификациям. Таким образом, согласно дорожной карте 3GPP (roadmap), проект 5G все еще на очень ранней стадии. Планируется завершить разработку Релиза 16 только к марту 2020 г. По опыту релиза 3G и 4G, можно предположить, что реалистично ожидать готовый 5G NR войдет Релиз 17, который случится в конце 2021 г.

На стадии НИОКР и разработки спецификаций параллельно находится так называемый стандарт 6G, который планируют выкатить в 2030 г. Если 6G также не имеет обратной совместимости с 5G NR-V2X как 5G NR-V2X с LTE-V2X, то, вероятно, организации, заинтересованные во внедрении новых C-V2X технологий, проигнорируют 5G NR-V2X, чтобы дождаться релиза 6G и работать сразу с ним.

Главное отличие C-V2X от DSRC с точки зрения коммерческого использования заключается в том, что DSRC стабилен и протестирован, эволюционно и предсказуемо развивается, а C-V2X – нет. Провайдеры и разработчики оборудования могут планировать работу в DSRC технологиями на долгосрочной основе. При этом по техническим характеристикам DSRC не превосходит C-V2X, а в некоторых компонентах и уступает. Проблема с LTE-V2X в том, что не все, необходимые для масштабного внедрения, тесты пройдены, такие как кросс-граничные тесты и кросс-операторные. При этом в релизах 3GPP, начиная с 16 и дальше, поддержка LTE-V2X не гарантируется. Таким образом, сравнение LTE-V2X и IEEE 802.11p не актуально в связи с прекращением развития поддержки первого [124].

## 2.7 Управление мобильными подписками многопрофильных СИМ-карт (технология eUICC)

### Архитектура системы

Архитектура системы удаленного программирования интегрированного устройства (чипа) и внутренняя высокоуровневая архитектура интегрированного устройства embedded universal integrated circuit card (eUICC), на базе которого реализующего функционал стандарта eСИМ представлены на Рис. 20.

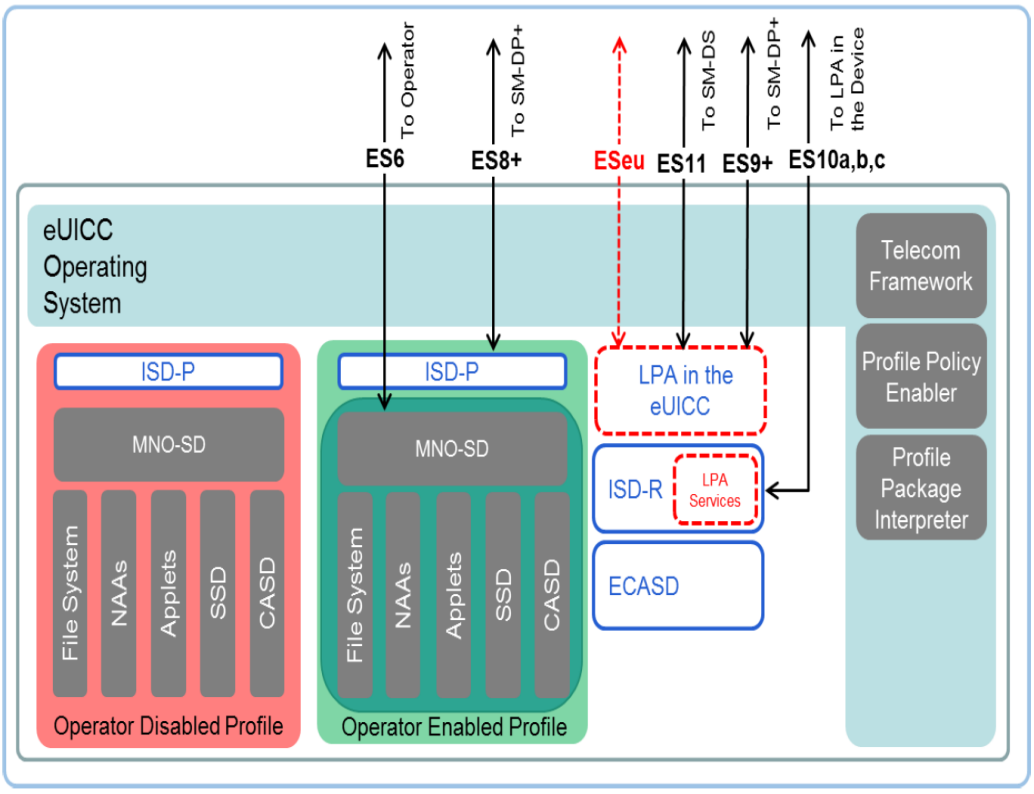



Рис. 20 – Архитектура интегрированного электронного устройства eUICC

Источник: Официальный сайт iTech / Режим доступа: https://itechinfo.ru (дата обращения: 15.01.2020) [140].

Рассмотрим описание основных элементов архитектуры [140]:

1. ECASD (англ. Embedded UICC Controlling Authority Security Domain) - интегрированный домен безопасности eUICC. ECASD отвечает за безопасное хранение учетных данных, необходимых для обеспечения требуемого уровня безопасности.

Только один элемент ECASD может существовать на eUICC. ECASD должен быть предустановлен и персонализирован производителем eUICC.

ECASD должен содержать следующую информацию:

- закрытые ключи eUICC для создания электронных подписей;
- связанные с eUICC сертификаты безопасности для её аутентификации;
- корневые публичные ключи для проверки сертификатов безопасности элементов SM-DP + и SM-DS;
- набор секретных ключей производителя eUICC, необходимых для обновления ключей/сертификатов.

Кроме того, ECASD отвечает за аутентификацию eUICC с использованием необходимых ключей безопасности.

2. ISD-R (англ. Issuer Security Domain - Root) – корневой домен безопасности. ISD-R отвечает за создание новых и управление жизненным циклом доменов безопасности профилей (ISD-P).
3. ISD-P (англ. Issuer Security Domain - Profile) – домен безопасности профиля. ISD-P обеспечивает загрузку, установку и хранение профилей СИМ карт. ISD-P это представление данных SM-DP+ на чипе.
4. MNO-SD (англ. Mobile Network Operator - Security Domain) – представление данных оператора связи. MNO-SD содержит ключи OTA и обеспечивает канал безопасности для обмена данных через OTA.
5. Profile Policy Enabler – сервис операционной системы eUICC, выполняющий проверку и применение политик безопасности.
6. Telecom Framework – сервис операционной системы eUICC, который обеспечивает работу алгоритмов аутентификации, размещенных на ISD-Ps. Дополнительно сервис предлагает возможность конфигурировать алгоритмы необходимыми параметрами.

7. Profile Package Interpreter – сервис операционной системы eUICC, который преобразовывает полученные данные профиля во внутренний формат eUICC.
8. LPA Services (англ. Local Profile Assistant Services) - локальные сервисы, реализующие доступ к данным, необходимым LPA функциям, для:
   - получения адреса корневого SM-DS;
   - получения адреса опционально хранимого SM-DP+;
   - упрощения приема профиля СИМ при передаче от LPA;
   - получения информации об установленном профиле;
   - обеспечения управления профилями;
   - обеспечения функционала аутентификации и взаимодействия с SM-DS;
   - обеспечения доступа к идентификатору eUICC (EID) только с LPA.

   LPA включает в себя три функции:
   - Local Discovery Service (LDS) – отвечает за получение отложенных событий от SM-DS;
   - Local Profile Download (LPD) – выполняет роль посредника для более эффективной загрузки пакета профиля из SM-DP+;
   - Local User Interface (LUI) – позволяет конечному пользователю выполнять управление профилями на устройстве.

Предусмотрены два режима работы LPA. Первый: LPA функции предоставляются устройством, второй: LPA функции предоставляются eUICC.

9. SM-DP+ (англ. Subscription Manager Data Preparation) – элемент архитектуры стандарта eСИМ, который отвечает за создание, управление и защиту профилей СИМ на основании запроса Оператора связи. Он также отвечает за доставку профиля и запрос ISD-P в создании профиля на

eUICC. SM-DP + также будет управлять жизненным циклом профиля ISD-P, которое было создано по его запросу.

10. SM-DS (англ. Subscription Manager – Discovery Service) – сервер обнаружения, реализующий механизм, который позволяет SM-DP+ информировать LDS любого устройства о том, что SM-DP+ хочет установить с ним связь.
11. CI (англ. Certificate Issuer) - центр сертификации, осуществляющий выпуск сертификатов для аутентификации объектов системы.
12. EUM (англ. eUICC Manufacturer) - производитель электронных чипов eUICC.

**Интерфейсы взаимодействия**

Интерфейсы взаимодействия между различными элементами архитектуры eSIM изображены на Рис. 21.

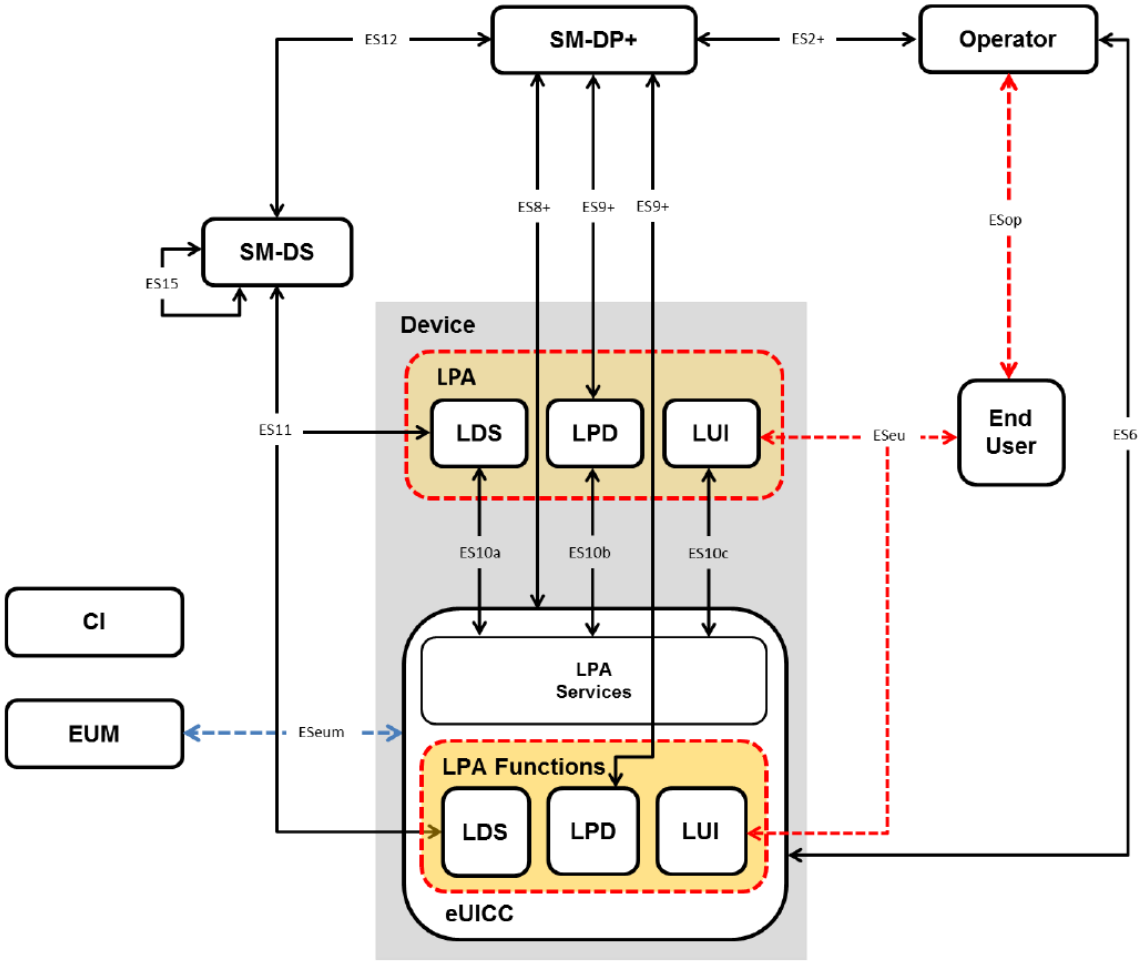



Рис. 21 – Интерфейсы взаимодействия в стандарте eSIM

Источник: Официальный сайт iTech / Режим доступа: https://itechinfo.ru (дата обращения: 15.01.2020) [140].

Исходя из Рис. 21 стандарт eSIM представлен следующими интерфейсами [133]:

1. Интерфейс ES2+ (Operator – SM-DP+) используется оператором связи для административных целей, в том числе для назначения профиля СИМ для определенного eUICC.
2. Интерфейс ESop (Operator – End user) - это интерфейс между оператором связи и конечным пользователем. Данный интерфейс не рассматривается в рамках настоящего документа.
3. Интерфейс ESeu (End User - LUI) - это интерфейс между конечным пользователем и LUI. ESeu используется для локального управления операциями с профилями. Операции, инициированные конечным пользователем, выполняются только через интерфейс ESeu.
4. Интерфейс ES6 (Operator – eUICC) используется оператором связи для управления сервисами оператора средствами OTA (Over The Air).
5. Интерфейс ES9+ (SM-DP+ – LPD) используется для безопасной передачи профилей СИМ карт между SM-DP+ и LPD.
6. Интерфейс ES8+ (SM-DP+ – eUICC) обеспечивает организацию безопасного канала точка-точка между SM-DP+ и eUICC для управления ISD-P и связанного с ним профиля во время его загрузки и установки.
7. Интерфейс ES12 (SM-DP+ – SM-DS) используется для инициации или удаленной регистрации события для определенного eUICC на SM-DS.
8. Интерфейс ES11 (LDS – SM-DS) позволяет сервису LDS запрашивать события для соответствующего eUICC.
9. Интерфейс ESeum (EUM – eUICC) - это интерфейс между EUM и eUICC. Данный интерфейс не рассматривается в рамках настоящего документа.
10. Интерфейс ES10a (LDS – LPA Services) используется LPA сервисом, расположенным на устройстве, для получения сконфигур-ных адресов на eUICC, таких как: адрес корневой адрес SM-DS, адрес SM-DP+.

11. Интерфейс ES10b (LPD – LPA Services) используется LPD, расположенным на устройстве, и LPA сервисами для передачи профилей СИМ на eUICC.
12. Интерфейс ES10c (LUI – LPA Services) используется LUI, расположенным на устройстве, и LPA сервисами для локального управления профилями конечным пользователем.
13. Интерфейс ES15 (SM-DS – SM-DS) - в случае каскадного внедрения SM-DS, интерфейс ES15 используется для связи между SM-DS.

Организация связи между устройством и SM-DP+ может быть обеспечена:

– с помощью доступа в интернет на том же самом устройстве, где находится LPA;
– с помощью доступа в интернет через устройство посредника, средствами локального подключения.

Пример организации связи показан на Рис. 22.

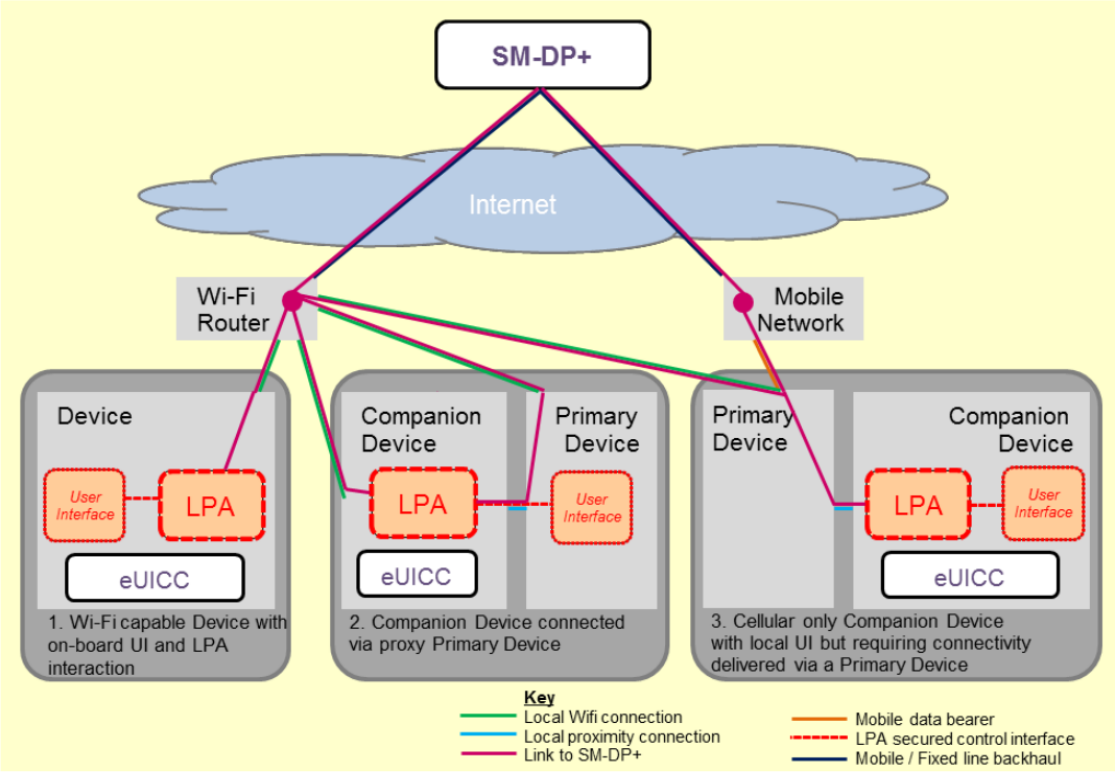



Рис. 22 – Пример организации связи между устройством и SM-DP+
Источник: Официальный сайт iTech / Режим доступа: https://itechinfo.ru (дата обращения: 15.01.2020) [140].

### Загрузка профиля в eSIM

Одной из основных задач стандарта eSIM является организация процедуры безопасной загрузки профиля в чип eSIM, которую можно описать следующим образом [140]:

1. Производитель абонентских устройств изготавливает гаджет с встроенным eSIM модулем. На eSIM должны быть записаны в т.ч. адрес корневого сервера обнаружения (SM-DS), идентификатор модуля (EID - eUICC-ID) и сертификаты безопасности.
2. Пользователь покупает устройство с установленных модулем eSIM и заключает договор с оператором на оказание услуг мобильной связи.
3. Оператор связи создает на SM-DP+ абонентский профиль и привязывает его к сертификатам безопасности eSIM модуля, установленного в гаджете клиента. Абонентский профиль содержит в т.ч. международный идентификатор мобильного пользователя (IMSI), параметры алгоритма аутентификации и персональные ключи (OP, OPc, KI), коды защиты PIN, PUK.
4. Оператор создает абонентский профиль в сетевых базах данных и платформах - HLR/HSS, BSS.
5. Далее в рамках процедуры обнаружения SM-DP+ загружает абонентский профиль в eSIM.

Рассмотрим основные механизмы управления подписками, регистрации/удаления событий и процедуру работы службы обнаружения устройств.

### Управление подписками

Элемент архитектуры SM-DS предназначен для того, чтобы обеспечить механизм, который позволит SM-DP+ информировать LDS устройства о том, что SM-DP+ хочет установить с ним связь. Целью установления данной связи является информирование LDS об ожидающем событии.

Принцип работы остается однотипным для всех случаев. SM-DP+ отправляет сообщение о регистрации события для целевого устройства на

SM-DS. В случае упрощенной схемы внедрения используется только корневой SM-DS. Адрес корневого SM-DS уникальный и конфигурируется на eUICC. LDS целевого устройства опрашивает корневой SM-DS. В случае наличия события для запрашиваемого устройства, SM-DS сообщает устройству адрес SM-DP+, если событие отсутствует SM-DS содержит пустой ответ.

В случае внедрения при использовании нескольких SM-DS (каскадная схема), SM-DP+ может отправить регистрацию события альтернативному (не корневому) SM-DP. В данном случае альтернативный SM-DS будет последовательно передавать сообщение к корневому SM-DS. И LDS целевого устройства при опросе корневого SM-DS получит в ответ адрес альтернативного SM-DS. Затем устройство запросит альтернативный SM-DS и получит от него адрес SM-DP+.

Существует две конфигурации внедрения SM-DS:

– использование корневого SM-DS;

– использование альтернативных SM-DS.

На Рис. 23 изображены обе конфигурации внедрения. Корневой SM-DS конфигурируется при производстве eUICC.

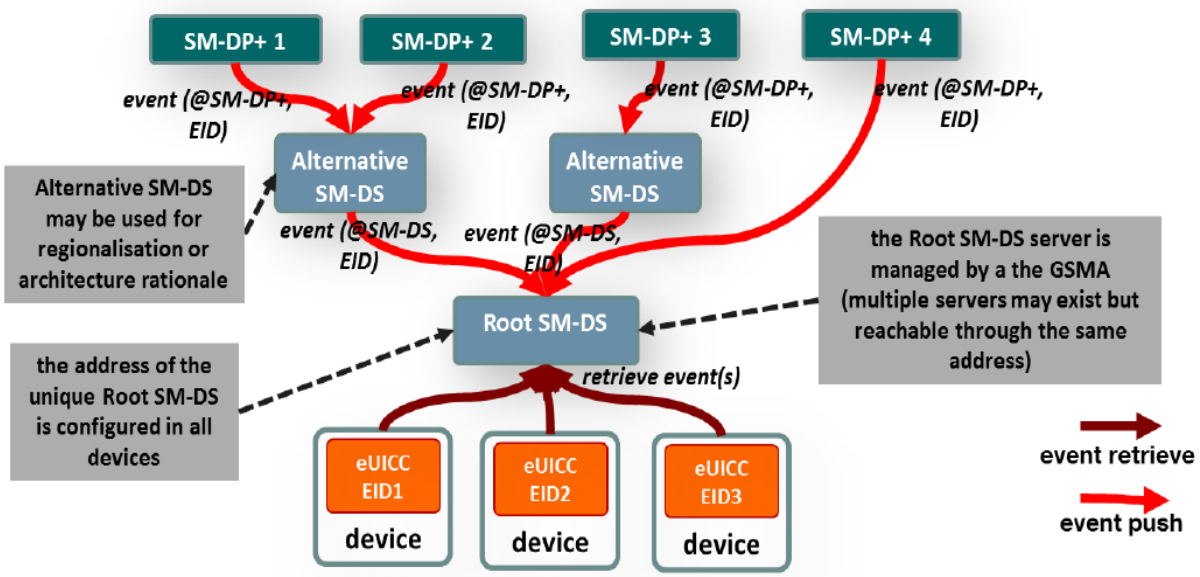



Рис. 23 – Конфигурации внедрения SM-DS

Источник: Официальный сайт iTech / Режим доступа: https://itechinfo.ru (дата обращения: 15.01.2020) [140].

Для обеспечения необходимой функциональности SM-DS имеет три функции [133]:

– Event Registration – регистрация события, процесс посредством которого осуществляется сохранение зарегистрированного события, принятого от SM-DP+.
– Event Deletion – удаление события, процесс посредством которого SM-DP+ может удалять, созданные им события.
– Event Retrieval – получение всех зарегистрированных событий средствами службы обнаружения от любого запрашивающего LDS.

**Процедура регистрации/удаления событий**

На Рис. 24 показана подробная процедура регистрации и удаления события.

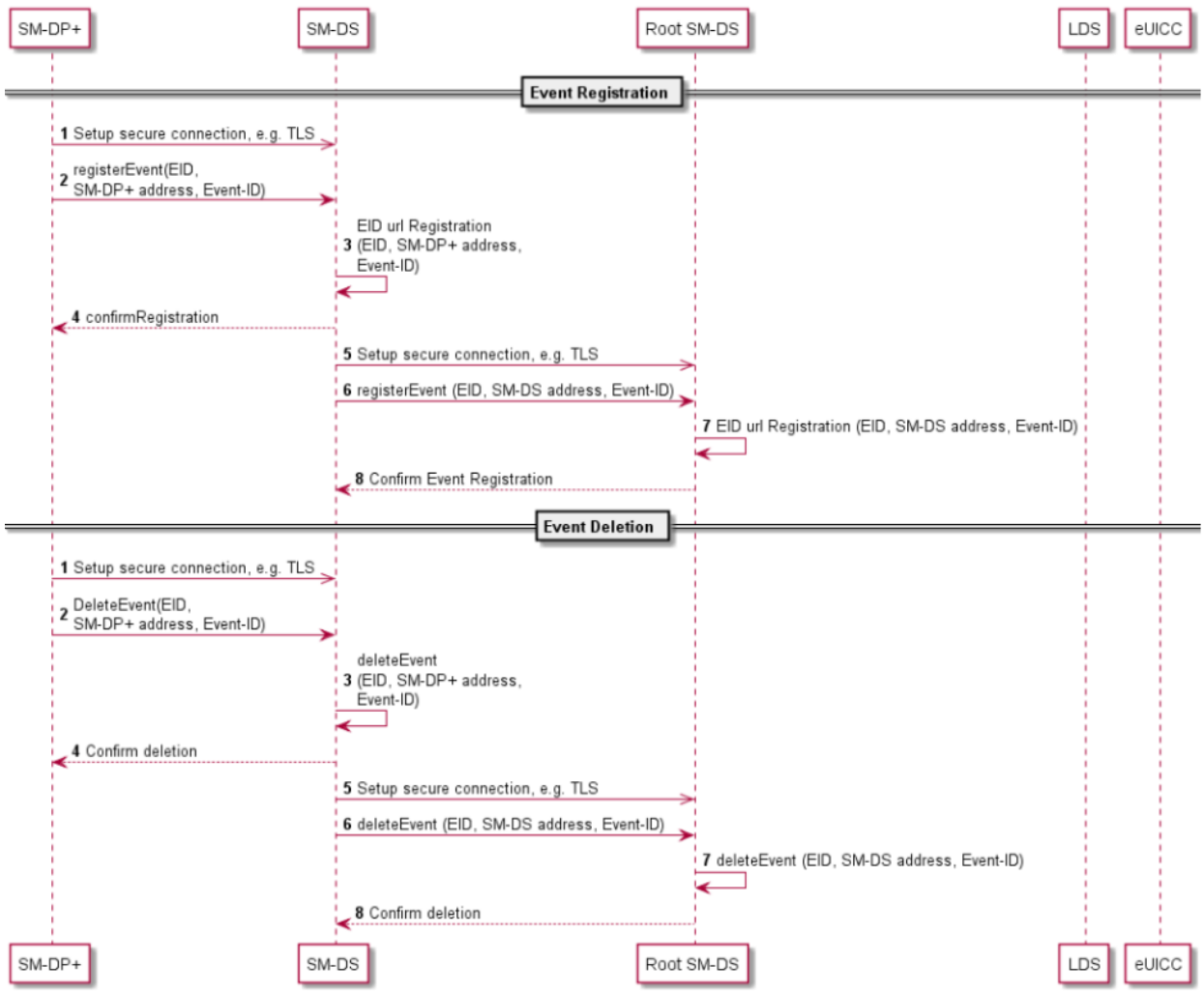



Рис. 24 – Процедура регистрации и удаления события

Источник: Официальный сайт iTech / Режим доступа: https://itechinfo.ru (дата обращения: 15.01.2020) [140].

Процедура регистрации события [133]:

- SM-DP+ устанавливает безопасное соединение с альтернативным SM-DS, который был выбран владельцем профиля SIM карты;р;
- SM-DP+ информирует альтернативный SM-DS о намерении зарегистрировать событие;
- Альтернативный SM-DS регистрирует событие и подтверждает регистрацию;
- Альтернативный SM-DS устанавливает безопасное соединение с корневым SM-DS;
- Альтернативный SM-DS информирует корневой SM-DS, что для определенного устройства с EID идентификатором ожидает событие на определенной альтернативном SM-DS;
- Корневой SM-DS регистрирует событие;
- Корневой SM-DS подтверждает регистрацию события.

Процедура удаления события [133]:

- SM-DP+ устанавливает безопасное соединение с альтернативным SM-DS, который был выбран владельцем профиля SIM карты;
- SM-DP+ информирует альтернативный SM-DS об удалении события;
- Альтернативный SM-DS удаляет событие и подтверждает его удаление;
- Альтернативный SM-DS устанавливает безопасное соединение с корневым SM-DS;
- Альтернативный SM-DS информирует корневой SM-DS, что для определенного устройства с EID идентификатором событие должно быть удалено;
- Корневой SM-DS удаляет событие;
- Корневой SM-DS подтверждает удаление события;

**Процедура работы службы обнаружения**

На Рис. 25 изображена диаграмма работы службы обнаружения.

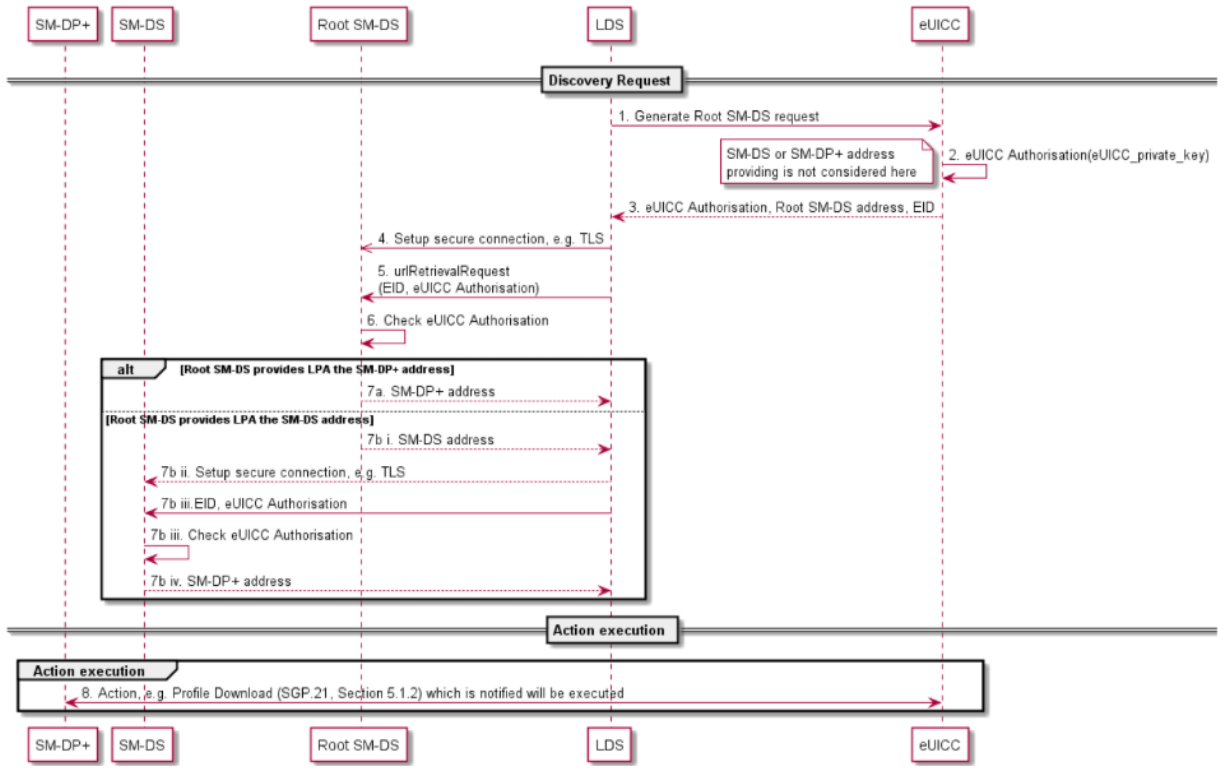



Рис. 25 – Процедура работы службы обнаружения

Источник: Официальный сайт iTech / Режим доступа: https://itechinfo.ru (дата обращения: 15.01.2020) [140].

Процедура работы службы обнаружения [133]:

- Для того чтобы сгенерировать запрос обнаружения LDS запрашивает eUICC адреса SM-DS или SM-DP+, а также авторизационные данные, которые содержат (по крайней мере) сертификат eUICC;
- LDS устанавливает безопасное соединение с корневым SM-DS;
- Корневой SM-DS выполняет авторизацию и аутентификацию eUICC;
- В случае успешной аутентификации eUICC и в случае наличия события для данной eUICC корневой SM-DS передает LDS следующие данные:
    - Адрес SM-DP+ где ожидает событие (в случае упрощенной схемы с одним корневым SM-DS);
    - Адрес SM-DS где ожидает событие (в случае использования альтернативных SM-DS).

LDS устанавливает безопасное соединение с альтернативным SM-DS;

- Альтернативный SM-DS выполняет авторизацию и аутентификацию eUICC;
- В случае успешной аутентификации eUICC и в случае наличия события для данной eUICC корневой SM-DS передает LDS адрес SM-DP+ где ожидает событие;

– LPA устанавливает связь с SM-DP+ и ожидает инструкций для исполнения.

## 2.8 Технологические индикаторы рынка технологий связи

Стоит отметить, что среди всех вышеперечисленных технологий лишь технологии сетей 5G являются единственными представленными на хайп-цикле Гартнера 2019 г., что подтверждает их критическую значимость для рынка «Автонет» (см. Рис. 26).

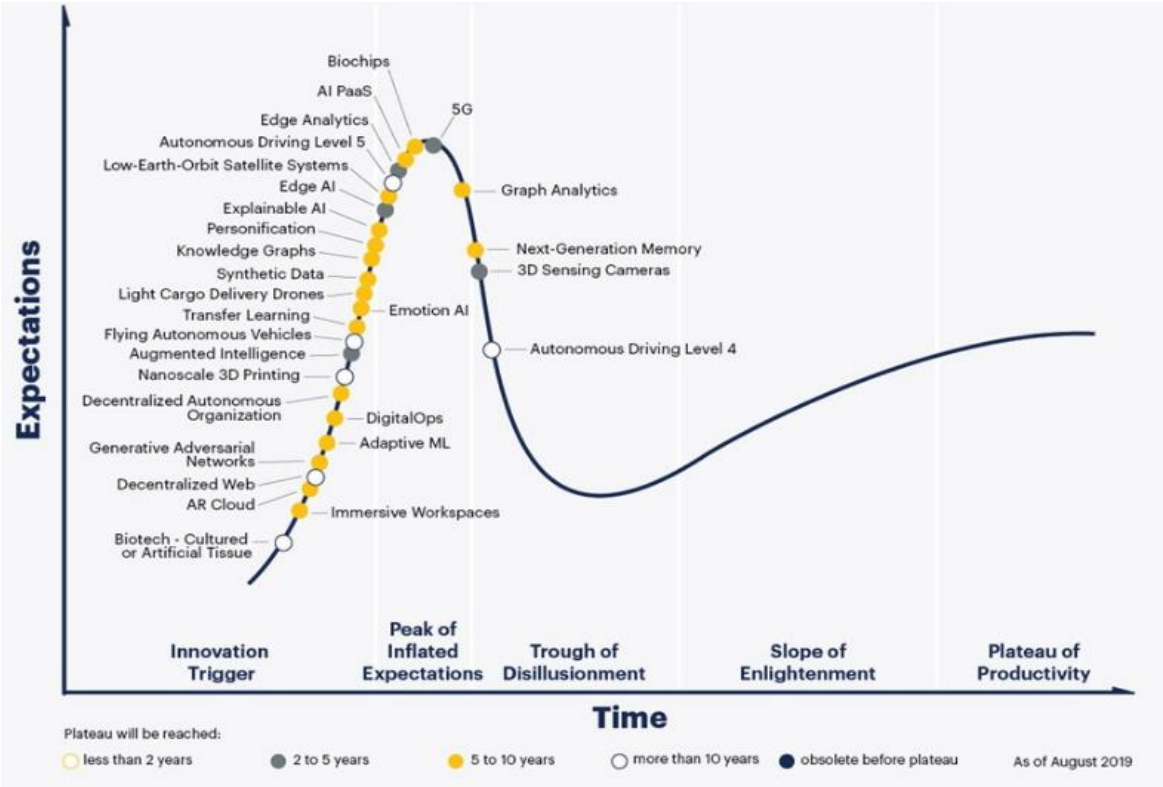



Рис. 26 – Хайп-цикл Гартнера (2019 г.)
Источник: The Official Website of Gartner [173].

Согласно методологии компании Gartner, каждая из стадий цикла определяет степень оценки дополнительных показателей, соответствующих каждой из рассматриваемых технологий и инновационных трендов. Среди таких технологических индикаторов можно выделить:

- Уровень готовности технологий (Technology Readiness Level. TRL) – представляет собой систематическую метрику оценки готовности технологии и сопоставимого сравнения уровней готовности различных технологий между собой. Уровни определяются по установленным правилам, принимая во внимание, в том числе, концепцию технологии, технологические требования, демонстрацию технологических возможностей продукта. Оценка TRL выражается в натуральных числах от 1 до 9, при этом 9 является наиболее высоким уровнем, соответствующим началу коммерческого производства продукта [144].
- Процент проникновения технологии на рынок – отражает степень заинтересованности в технологии со стороны рыночной аудитории.
- Скорость адаптации технологии на рынке – отражает возможность выхода технологи на «плато продуктивности» (5-уй стадию по циклу Гартнера)..
- Воздействие технологии на бизнес – отражает уровень влияния технологий на различные сферы бизнеса.
- Преимущества от внедрения технологии – отражает степень изменения бизнес-процессов компаний в зависимости от развития технологий.

Технологические индикаторы рынка технологий связи представлены в Табл. 16. Подробные сведения по оценке показателей приведены в Приложении Е.

Табл. 16 – Технологические индикаторы рынка технологий связи,
соответствующие технологиям беспроводной связи (согласно методологии компании Gartner)

| № | Наименование направления | Фаза зрелости | | Уровень готовности | Проникновение на рынок | Скорость адаптации на рынке | Уровень воздействия на бизнес | Уровень преимуществ от внедрения технологии |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Вход в цикл | Выход из цикла | | | | | |
| 1 | GSM / GPRS / EDGE (2G) | 1998 | 2003 | «TRL 9» | От 20% до 50% целевой аудитории или более 50% целевой аудитории | Высокая | Высокий | Преобразовательный |
| 2 | UMTS (3G) | 2003 | 2009 | | | | | |
| 3 | LTE (4G) | 2008 | по настоящее время | | | | | |
| 4 | 5G NB (5G) | 2015 | по настоящее время | | | | | |
| 4 | Bluetooth | 1995 | по настоящее время | | | | | |
| 5 | Wi-Fi | 1999 | по настоящее время | | | | | |
| 6 | ZigBee | 1998 | по настоящее время | | | | | |
| 7 | NB-IoT | 2015 | По настоящее время | «TRL 9» | От 5% до 20% целевой аудитории или от 20% до 50% целевой аудитории | Средняя | Высокий | Высокий |

Источник: составлено по данным:
The Official Website of Gartner / – Режим доступа: https://www.gartner.com (дата обращения: 06.12.2019) [173].
Примечание: методология оценки приведена в Приложении Б.
GSM – Global System for Mobile Communications;
GPRS – General Packet Radio Services;
EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution;
LTE – Long-Term Evolution;
TRL – Technology Readiness Level;
NB-IoT – Narrow Band IoT.

Помимо технологических индикаторов рынка технологий связи, оцениваемых по методологии компании Gartner, также можно отметить показатели, представленные на основе анализа баз данных Crunchbase и AngelList. К ним относятся:

- Показатели по ключевым игрокам рынка:
  - Основные вендоры (разработчики технологии),
  - Количество компаний, имеющих ключевой бизнес на базе технологии,
  - Количество доступных технологических решений (количество областей применения технологии).
- Показатели по стартапам на рынке:
  - Стадии развития стартапа,
  - Тип сделки (этапы финансирования стартапа),
  - Количество сделок:
    - «Сделка-вход» (количество появившихся проектов);
    - «Сделка-выход» (количество проданных (через M&A) или вышедших на рынок (через IPO) проектов)).

Соответствующие индикаторы приведены в Табл. 17. Более детальны сведения о рассматриваемых показателях баз данных Crunchbase и AngelList приведены в Приложении Ж.

Табл. 17 – Технологические индикаторы рынка технологий связи, определяемые на основе анализа баз данных Crunchbase и AngelList

| Технология | Ключевые игроки рынка | | | Стартапы | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Вендоры | Количество доступных технологических решений[1] | Количество компаний, имеющих ключевой бизнес на базе технологии | Страны лидеры | Стадия развития компании | Тип сделки | Количество сделок | |
| | | | | | | | "сделка-вход" | "сделка-выход" |
| GSM / GPRS / EDGE (2G) | ETSI | 5 | Более 800 | США, Англия, Швейцария | Посев | Посев | 2265 | 32 |
| UMTS (3G) | | 5 | 26 | | | | | |
| LTE (4G) | 3GPP | 3 | 50 | | | | | |
| NB-IoT | | 9 | 149 | | | | | |
| Bluetooth | IEEE / SIG | 3 | 34000 | США, Канада, Китай | Venture - Series Unknown | M&A | 3736 | 202 |
| Wi-Fi | IEEE / Wi-Fi Alliance | 3 | Более 300 | | | | | |
| ZigBee | IEEE / ZigBee Alliance | 5 | 332 | | | | | |

Источник: составлено по данным:

1. The Official Website of Crunchbase / Режим доступа: https://crunchbase.com (дата обращения: 09.12.2019) [156].
2. The Official Website of AngelList / Режим доступа: https://angel.co (дата обращения: 09.12.2019) [157].

Примечание: методология оценки приведена в Приложении Г.

Сокращения: LAT – Location-Aware Technology; LAA – Location-Aware Applications; LBS – Location-Based Services; GSM – Global System for Mobile Communications; GPRS – General Packet Radio Services; EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution; LTE – Long-Term Evolution; TRL – Technology Readiness Level; NB-IoT – Narrow Band IoT.

[1] Количество областей применения технологии/технологической системы

Рассматриваемые в настоящем исследовании технологии оказывают положительное влияние на рынок «Автонет», в частности, на такие рыночные направления как: транспортно-логистические услуги, телематические транспортные и информационные системы (платформы, системы управления, транспортные средства), интеллектуальная городская мобильность.

Порядок внедрение на рынке «Автонет» тех или иных систем представим при помощи Хайп-цикла Гартнера (см. Рис. 27).

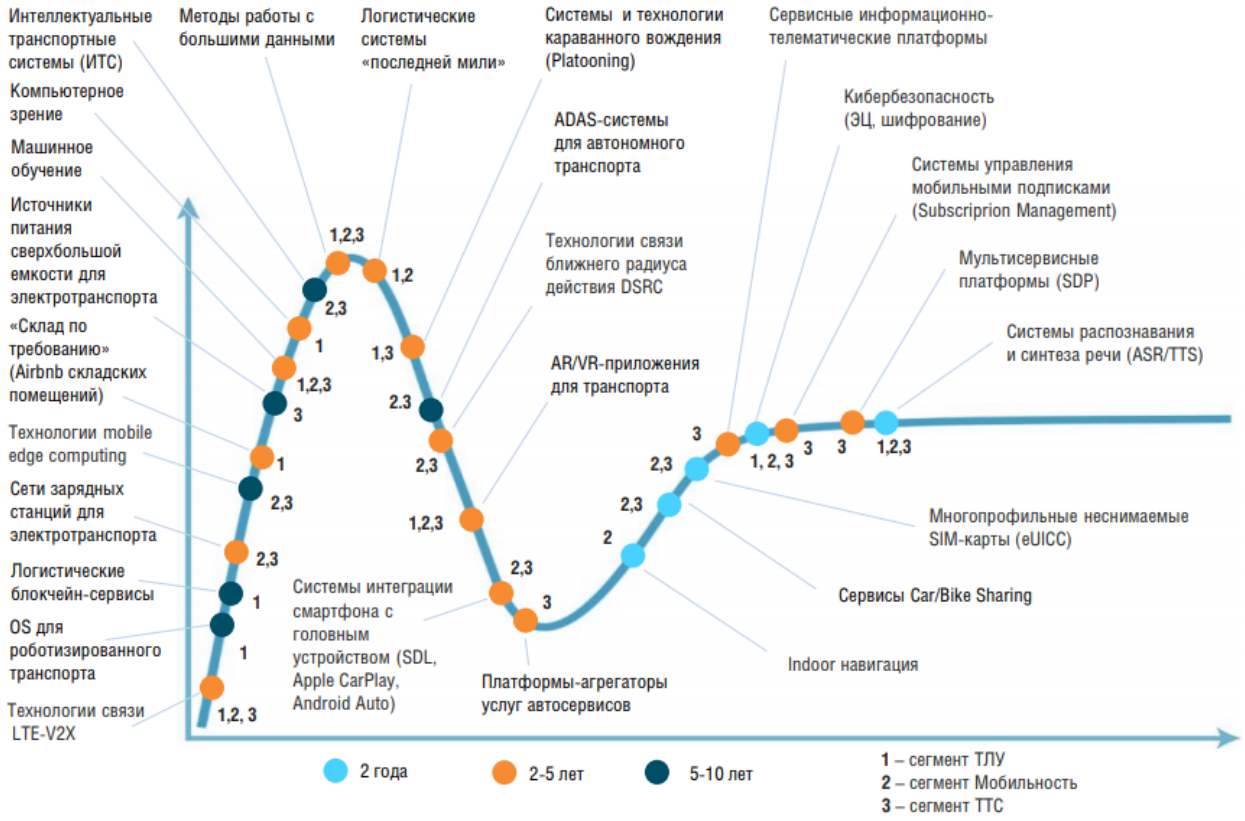



Рис. 27 – Карта технологий рынка «Автонет» (на 2019 г.)
Источник: составлено автором.

Исходя из Рис. 27, можно сделать вывод, что наиболее востребованными технологиями на рынке «Автонет» являются системы управления мобильными подписками, в то время как технологии связи LTE-V2X наименее развиты в 2019.

## ВЫВОДЫ:

1. Наиболее распространённым признаком классификации беспроводных сетей является их географическая протяженность. В зависимости от дальности действия, беспроводные сети подразделяют на персональные, локальные, региональные и глобальные сети.
2. К беспроводным персональным сетям относятся Bluetooth и ZigBee. Основное преимущество технологии (стандарта) Bluetooth заключается в его высоком уровне стандартизации и широчайшем распространении в составе пользовательских электронных устройств. Это позволяет в ряде случаев практически в два раза сэкономить время и затраты на разработку при проектировании некоторой системы сбора данных, телеметрии или управления. Стандарт ZigBee предназначен для радиочастотных устройств, требующих гарантированную безопасную передачу данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания.
3. Достаточно быстро развиваются беспроводные локальные сети, обладающие высокой надежностью, помехоустойчивостью и защищенностью. Чаще всего подобные сети строят на базе стандарта Wi-Fi – технологии беспроводной связи, характеризующейся высокой скоростью передачи данных. К достоинствам технологии относят: высокий уровень стандартизации, высокую скорость передачи данных, большое разнообразие модулей связи. Недостатками технологии считаются большое энергопотребление и высокая цена оборудования.
4. Беспроводные городские сети являются логичным развитием беспроводных локальных сетей, обеспечивающих более высокие скорости передачи данных и более широкую область покрытия. Примером технологии является WiMAX.
5. В беспроводных глобальных сетях для передачи данных используются беспроводные технологии сотовой связи, которые обеспечивают работу

мобильных приложений, доступ пользователей к интернету или передачу и прием сообщений электронной почты. Технологии сотовой связи рассматривают на примере развития поколений сетей, эволюция которых, прежде всего, выражена в наращивании производительности и увеличении возможностей сетей. Интеграция уже существующих и новых технологий будет способствовать появлению целого ряда новых услуг. В долгосрочной перспективе - выгодам, которые будут доступны благодаря технологиям 5G.

6. Энергоэффективные сети дальнего радиуса действия разработаны для межмашинного взаимодействия (M2M) и интернета вещей (IoT), являются одним из типов беспроводных сетей, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счётчиков и сенсоров. Примерами технологий являются NB-IoT, LoRa, Sigfox. Особенностями технологий приходятся: низкая скорость передачи данных, высокая задержка сигнала, низкая пропускная способность.
7. Успехи в области разработки технологии DSRC присущи США, Европе и Японии. В США развивается стандарт WAVE, в ЕС – ITS-G5. Японский стандарт отличается тем, что он используется только для взаимодействия автомобилей с придорожным оборудованием. Все технологии DSRC основаны на Wi-Fi и имеют обратную совместимость с предыдущими стандартами, разрабатываемыми IEEE.
8. LTE-V2X – текущий вариант спецификаций для C-V2X. На ранней стадии развития находится спецификация 5G NR-V2X. Разработку релизов сотовых технологий координирует 3GPP. Отличительными особенностями C-V2X от DSRC является отсутствие обратной совместимости стандартов 3GPP. Для масштабного внедрения C-V2X также необходимо провести большое число испытаний и тестов, в то время как технология DSRC уже давно себя зарекомендовала.

Провайдеры и разработчики оборудования могут планировать работу с DSRC технологиями на долгосрочной основе.

9. Стандарт eSIM - это перспективная технология, которая в итоге может заменить существующие физические СИМ-карты.
10. Анализ технологических индикаторов рынка «Автонет» показал, что наиболее привлекательными для внедрения на рынке были системы управления мобильными подписками, в то время как технологии связи LTE-V2X оказались не столь популярными в 2019.

# ГЛАВА 3. Состояние и перспективы развития мирового рынка технологий беспроводной связи

## 3.1 Ключевые рыночные тенденции и драйверы развития беспроводных технологий связи

Развитие технологий беспроводной связи обуславливается отдельными тенденциями и драйверами, которые задают представление о потенциальном спросе и рыночных потребностях [140]:

- Основным драйвером WPAN является спрос на значительное расширение и внедрение RFID чипов в торговле за счет применяемой маркировки товаров, тем самым, оптимизировав затраты на логистику.
- Субтехнологии WLAN расширят рынок устройств Wi-Fi внедрением нового протокола Wi-Fi 6, а также создадут новый сегмент рынка устройств, поддерживающих технологию Li-Fi.
- Субтехнологии WWAN обеспечат рост рынка мобильных и носимых устройств за счет внедрения новых сервисов глобального уровня, таких как массовые машинные коммуникации и критически важные сервисы со сверхнизкой задержкой. Также это обеспечит рост рынка и количества предоставляемых услуг за счет расширения

возможностей коммуникации в разрезе увеличения пропускной способности мобильной сети и уменьшения задержек передачи информации.

- Субтехнологии LPWAN расширят возможности текущих подходов к оптимизации производственных затрат за счет массового внедрения решений для связи устройств промышленного интернета вещей (IIoT). Большая часть добавленной экономической выгоды будет идти как раз от сетей LPWAN за счет масштабного внедрения беспроводных устройств сбора данных в промышленности, добыче, энергетике и ЖКХ.
- Субтехнологии спутниковой связи являются основой достижения 100% обеспечения доступа к сети интернет и связи в малонаселенных районах, на подвижных объектах и для корпоративных решений в области «последней мили».

## 3.2 Мировой рынок технологий мобильной связи

### Анализ мирового рынка мобильной связи

Игроки отрасли мобильной связи за последние 30 лет развернули по всему миру сети 2G, 3G, а также, относительно недавно, 4G и тем самым доказали, что с их помощью можно объединять людей и трансформировать общество. Технология 5G будет использовать достижения предыдущих поколений для создания платформы, которая позволит не только улучшить существующие услуги, но также создать новые бизнес-модели и разработать новые сценарии использования.

Ведущий мировой производитель инфокоммуникационного оборудования компания Ericsson опубликовала свой очередной отчет "Ericsson Mobility Report, 2018", описывающий текущую ситуацию на рынке мобильной связи, а также содержащий прогнозы развития до 2024 г. Основными тезисами данного отчета являются [145]:

1. Прогноз роста 5G по всему миру:
   - К концу 2019 г. в мире будет более 10 миллионов подписчиков 5G.
   - Ожидается, что к концу 2024 г. число пользователей мобильной широкополосной связи составит 1,9 млрд. Абонентов 5G, что к тому времени будет составлять более 20% абонентов мобильной связи. Ожидается, что пик абонентского LTE к 2022 г. сократится, примерно на 5,3 млрд., а затем число будет постепенно уменьшаться.
   - К 2024 г. сети 5G будут передавать 35% трафика мобильной передачи данных по всему миру.
   - До 65% населения мира к 2024 году будут использовать сети 5G.
   - На технологии NB-IoT и Cat-M будет приходиться почти 45% мобильных подключений IoT к 2024 г.
   - К концу 2024 г. почти 35% мобильных IoT-соединений будут широкополосными IoT с доминирующим подключением 4G. Но соединения 5G будут поддерживать более продвинутые, более конкретные варианты использования.
   - Хотя сроки развертывания 5G являются сложными, ожидается, что поставщики оборудования будут готовы к новым частотным диапазонам и поддержке сетевой архитектуры для ряда устройств в 2019 г.
   - В настоящее время разрабатываются наборы микросхем для совместного использования частот, которые, как ожидается, появятся в коммерческих устройствах 5G к концу 2019 г.
   - VoLTE является платформой для предоставления услуг голосовой связи и связи на устройствах 5G. Ожидается, что к концу 2019 г. число абонентов VoLTE достигнет 2,1 млрд., а к концу 2024 г. - 5,9 млрд., что составляет более 85% абонентов как LTE, так и 5G.
2. 5G прогнозы для каждого региона:

- В Северной Америке поставщики услуг внедрили различные коммерческие услуги 5G как для фиксированного, так и для мобильного беспроводного доступа. По оценкам, к концу 2024 г. в регионе будет около 270 млн.абонентов 5G, что составляет более 60% абонентов мобильной связи.
- В Западной Европе первый коммерческий запуск в апреле послужил сильным стимулом для сетей 5G в регионе. Ожидается, что к концу 2024 г.5G будет составлять около 40% абонентов мобильной связи.
- В Центральной и Восточной Европе первые абоненты 5G, как ожидается, появятся в 2019 г., и к 2024 г. они будут составлять 15% абонентов.
- По прогнозам, в Северо-Восточной Азии уровень регистрации 5G региона достигнет 47% к концу 2024 г.
- В Индии 5G, как ожидается, начнет функционировать к 2022 г., и к концу 2024 г. на него будет приходиться 6% абонентов мобильной связи.
- На Ближнем Востоке и в Северной Африке в 2019 г. будет развернута торговля 5G с ведущими поставщиками услуг связи, и в 2021 г. она значительно возрастет. Ожидается, что будет зарегистрировано около 60 млн. абонентов 5G. К концу 2024 г. на его долю приходилось 3% от общего числа абонентов мобильной связи.
- В Юго-Восточной Азии и Океании первые коммерческие устройства 5G, как ожидается, появятся в первой половине 2019 г. К концу 2024 года почти 12% региональных абонентов будут на 5G.
- В Латинской Америке развертывание 5G, скорее всего, будет происходить в полосе 3,5 ГГц в 2019 г. Ожидается, что Аргентина, Бразилия, Чили, Колумбия и Мексика станут первыми странами в регионе, которые развернут 5G и цифровую связь. количество

абонентов будет быстро расти с 2020 г. Ожидается, что к концу 2024 г. 5G будет составлять 7% абонентов мобильной связи

## Испытания 5G в мире

В борьбу за лидерство на этапе экспериментальных разработок включились все крупнейшие производители телекоммуникационного оборудования, создавая альтернативные решения. Европейский союз в рамках проекта 5G поставил перед собой амбициозную задачу достижения технологического лидерства Европы на мировом телекоммуникационном рынке.

Экспериментальные разработки оборудования pre-5G периодически предъявлямые рынку ведущими мировыми производителями, как правило, носят характер частных решений на пути к коммерческой реализации оборудования сетей 5G.

Среди указанных разработок 5G можно выделить [175]:

1. Оборудование компании Huawei. Участвовало в совместном тестировании с сингапурским оператором Ml Limited (Ml). Для тестирования был выбран диапазон 73 ЕЕц. Была достигнута скорость передачи данных 35 Гбит/с.
2. На совместном тестировании Huawei и британского оператора Vodafone в г. Ньюбери (Великобритания) добились пиковой скорости передачи данных 20 Ебит/с в диапазоне частот от 60 до 90 ГГц (E-band) Тестированию проводилось при использовании антенн SU-MIMO и MU-MIMO и была продемонстрирована скорость 20 Гбит/с и 10 Гбит/с соответственно.
3. Оборудование компании Nokia. Тестировалось совместно с ПАО «Мегафон» два вида оборудования Nokia AirFame и AirScale, на частотах 4,65 - 4,85 ГГц при агрегировании двух радиоканалов шириной по 100 МГц. Агрегация частот осуществлялась в режиме MIMO 8x8 с

использованием 8 антенн, как на передающем, так и на приемном оборудовании. Достигнута скорость 4,5 Гбит/с при полосе пропускания 200 МГц.

4. Оборудование компании Ericsson. В ходе совместного тестирования оборудования со шведским оператором Telia при передаче сигнала шириной 800 МГц была достигнута рекордная скорость — 15 Гбит/с на одного пользователя и задержка равная 3 мс.
5. В американском штате Висконсин сотовый оператор U.S.Cellular провел испытания 5G оборудования Ericsson в диапазоне 15 ГГц. Удалось получить пиковые скорости 9 Гбит/с при расстоянии 240 метров от абонентского оборудования до базовой станции и 1,5 Гбит/с на расстоянии между ними равном одной миле (1,6 км).
6. Оборудование компании Samsung. Совместные тесты с немецким оператором T-Mobile начались в конце 2016 г. До этих тестов компания Samsung продемонстрировала передачу сигнала в диапазоне 28 ГГц на дальность 2 км со скоростью 1,056 Гбит/с с использованием 64-элементной антенной решетки.

Анализ таблиц 1 и 2 Приложения Ж, а также опубликованных результатов тестов оборудования pre-5G показывает, что усилия разработчиков в большинстве тестов направлены на освоение миллиметрового диапазона волн для мобильной связи и реализацию двух из трех бизнес сценариев — на создание экстремально широкополосного мобильного доступа eMBB со скоростями более 20 Гбит/с на основе новых видов сигнально-кодовых конструкций и на сокращение задержек для ультранадежных сетей 5G при межмашинном обмене данными uRLLC.

Ни один из разработчиков не продемонстрировал возможности подключения до 1 млн. датчиков на 1 кв. км. для бизнес модели mIoT Учитывая анонсированные запуски предкоммерческих версий сетей 5G на XXIII зимних олимпийских играх в Корее, времени у разработчиков остается немного.

Таким образом, можно сделать следующие выводы, что стандартизация технологии мобильной связи 5G внесена в перспективные планы работ ведущих международных организаций связи, занимающихся стандартизацией в области электросвязи: МСЭ, Партнерских проектов 3GPP и опеM2M, а также ETSI и других региональных органов стандартизации. Нормативно-технологической базой стандартизации сетей 5G в условиях дальнейшей либерализации рынков мобильной связи становятся открытые стандарты, создаваемые на международном и региональных уровнях стандартизации.

Разработка стандартов для сетей 5G обеспечивает единство технической политики и технологических решений, эффективное использование радиочастотного спектра, межсетевую совместимость, безопасность и качество услуг, повышая возможности для конкуренции производителей абонентского и сетевого оборудования, приложений 5G на этапе разработки стандартов.

Нерешенность вопросов выделения полос частот для использования в сетях 5G становиться проблемой при реализации технических решений разработчиками оборудования. Эта неопределенность также существенно затрудняет и удорожает разработку стандартов 5G, так как разработчикам стандартов придется вносить, кроме многовариантности в технологиях радиоинтерфейса 5G, еще и многовариантность в диапазонах используемых частот 5G.

## 3.3 Мировой рынок технологий интернета вещей

### Анализ мирового рынка интернета вещей

Поскольку не существует единой методологии анализа технологии, продуктов и услуг, входящих в совокупность объектов исследования интернета вещей, масштабы оценки рынка IoT могут сильно различаться. Так, по данным, приводимым компанией Gartner, глобальный объем рынка

IoT-решений и услуг должен был составить 2 трлн. долл. в 2017 г. [173]. Тем не менее, согласно отчетам компаний MarketsandMarkets и IDC объем рынка IoT весьма невелик. В 2019 г. рынок IoT оценивался в 344 и 745 млрд. долл. соответственно [145, 181]. Динамика рынка IoT отмечена на Рис. 28.

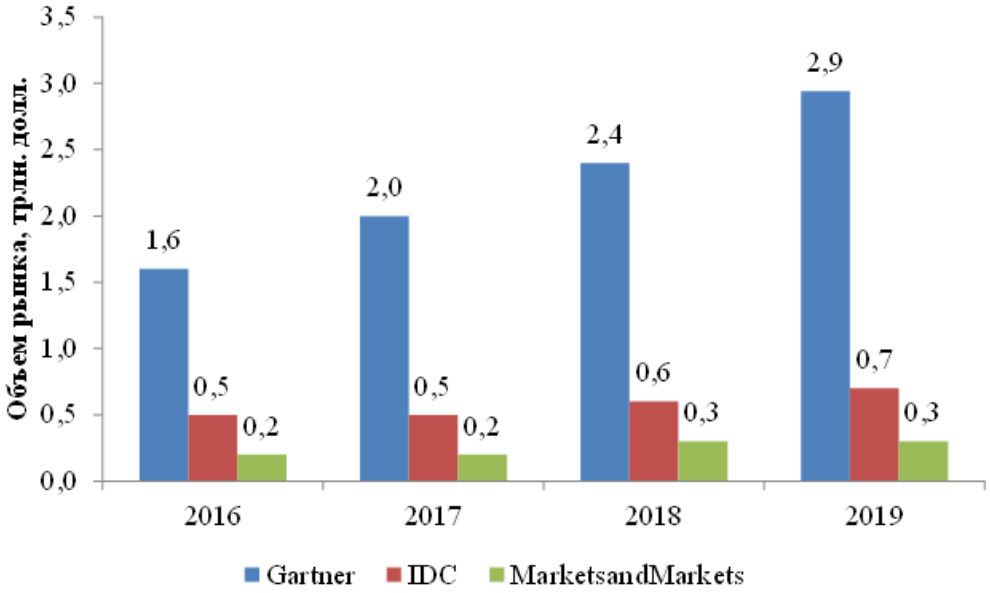



Рис. 28 – мировой рынок интернета вещей в 2016-2019 гг., трлн. долл.

Источники: составлено по данным: [181, 145, 146, 147].

Существенная вариация в показателях характерна и для данных об объеме рынка IoT в физическом выражении. По данным компании Gartner, в 2016 г. в мире насчитывалось 5,8 млрд. подключенных IoT устройств [173]. Прогноз, который был составлен компанией на 2018 г., практически совпадает с оценкой компании Ericsson. Согласно отчету, число подключенных IoT устройств превысило 8,6 млрд. ед. [146]. В свою очередь, исследовательская компания Strategy Analytic утверждает, что количество подключенных IoT устройств достигло 22 млрд. ед. в 2018 г. [146]. Максимальную оценку предоставляет компания IHS Markit, по данным которой, количество подключенных IoT устройств начитывало 31 млрд. ед. в 2018 г. [147]. Значительное превышение значений показателей может быть связано с методологией расчета IoT устройств, в соответствии с которой учитываются такие подключенные устройства, как мобильные телефоны, ноутбуки, планшеты, компьютеры и фиксированные телефоны.

Однако различаются не только текущие оценки компаний, но и прогнозные значения показателей рынка интернета вещей. Будущие тенденции представлены на Рис. 29 и Рис. 30.

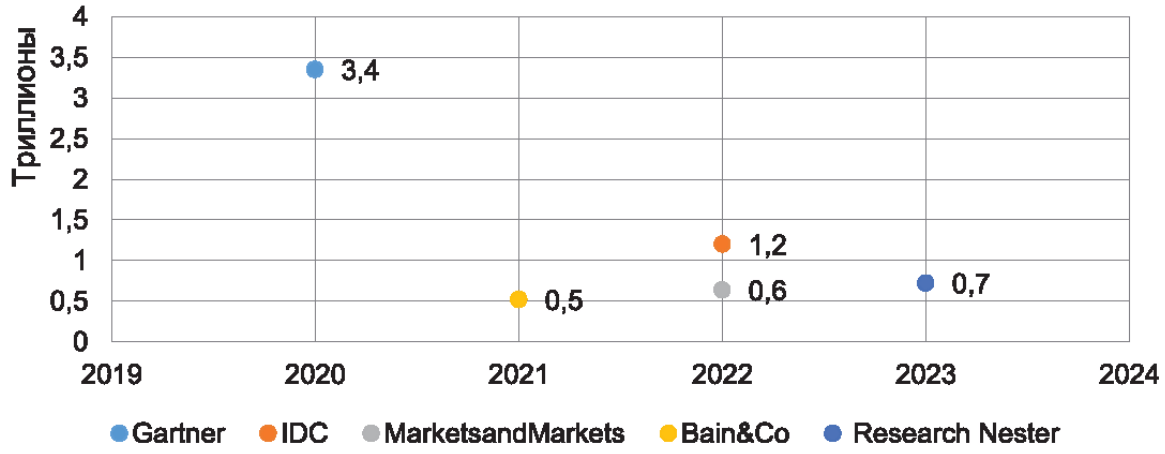



Рис. 29 – Прогнозы роста мирового рынка интернета вещей в денежном выражении (трлн. долл.)

Источник: Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. – М.:ООО«Лайм», 2019. – 272 с. [83].

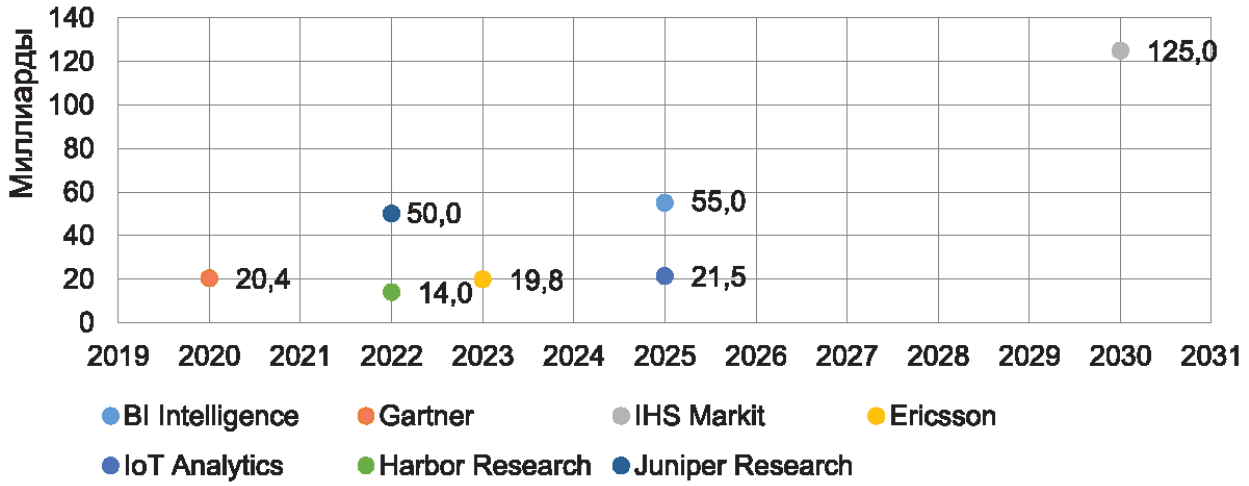



Рис. 30 – Прогнозы роста физического объема мирового рынка интернета вещей (млрд. ед.)

Источник: Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. – М.:ООО«Лайм», 2019. – 272 с. [83].

Таким образом, несмотря на то, что глобальные оценки рынка и прогнозы его развития различаются, очевидно, что, по всем прогнозам, рынок будет расти. Среди основных драйверов глобального рынка интернета вещей можно выделить [186, 187, 188]:

- снижение стоимости хранения и обработки данных, в том числе благодаря развитию облачных вычислений и распространению методов работы с большими данными;
- улучшение инфраструктуры: рост применения сенсоров, актуаторов и прочих устройств, необходимых для распространения решений IoT, соединение интернет-сетей с индустриальными сетями, увеличение покрытия сетью Интернет и развитие техн-ий связи (5G, LPWAN и др.);
- развитие международных стандартов;
- повышение уровня безопасности и конфиденциальности;
- развитие новых бизнес–моделей.

**Отраслевая структура мирового рынка интернета вещей**

Консалтинговая компания BCG сегментирует рынок интернета вещей в разрезе традиционных отраслей. Соответственно, наиболее крупными отраслями–потребителями решений интернета вещей, по ее оценкам, стали дискретное производство, транспорт и логистика, и коммунальные услуги; в 2020 г. на эти три сегмента придется около половины рынка. Анализ сегментов рынка представлен на Рис. 31.

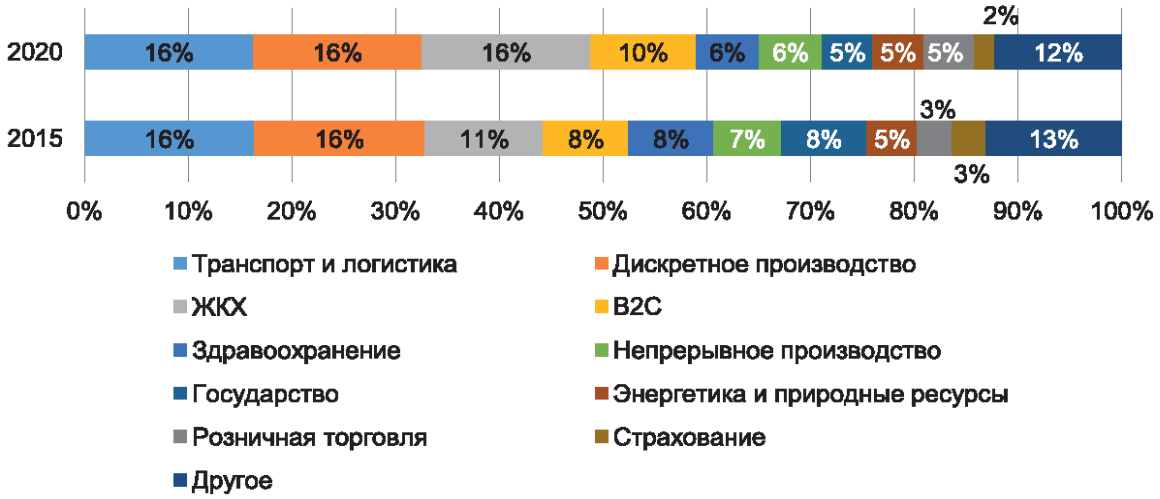



Рис. 31 – Отраслевая структура рынка интернета вещей в 2015 и 2020 гг. (млрд. долл.)

Источник: The Official Website of BCG / Режим доступа: https://www.bcg.com (дата обращения 16.01.2020) [148].

Компания IDC также оценивает рынки в разрезе традиционных отраслей. По данным компании, в 2018 г. наиболее крупными отраслевыми сегментами станут производство (189 млрд. долл., прирост 3,2% по сравнению с 2017 г.), транспорт (85 млрд. долл., без прироста рынка), коммунальные услуги (73 млрд. долл., прирост 10,6% по сравнению с 2017 г.), потребительский интернет вещей (62 млрд. долл.) При этом по темпам роста потребительский сектор обгонит другие сегменты рынка – среднегодовой темп прироста (CAGR) в 2017–2022 гг. составит 19%. В результате, по прогнозам IDC, потребительский сектор к 2021 г. станет третьим по объему для рынка IoT, после дискретного производства и транспортных услуг (объем каждого из этих двух сегментов рынка превысит 150 млрд. долл. к 2022 г.). Отдельно выделен кросс-индустриальный сегмент. Он включает общие для всех отраслей пользовательские сценарии, такие, как подключённые транспортные средства и умные здания. Объем этого сегмента в 2018 г. должен составить 92 млрд. долл. (прирост почти на 7% по сравнению с 2017 г.), уступая только производственному сектору.

Аналитики IDC выделяют ключевые пользовательские сценарии для каждой из указанных отраслей. Наиболее распространенные сценарии для производства – поддержка производственных операций. Так, в сегменте транспорта 2/3 затрат направлены на мониторинг состояния грузов, вторым по частоте применения сценарием является управление транспортным парком. В сегменте коммунальных услуг доминирующим сценарием является использование умных сетей для передачи электричества, газа и воды. Для потребителей применения IoT связаны с умным домом – бытовая автоматизация, безопасность, умная бытовая техника. Перспективными пользовательскими сценариями аналитики IDC называют решения типа V2V и V2I – их CAGR в 2017-2022 гг. составит 29%. За ними следуют управление движением и безопасность подключенного автомобиля [181].

С иной отраслевой сегментацией работают аналитические компании IoT Analytics (см. Рис. 32) и GrowthEnabler (см. Рис. 33).

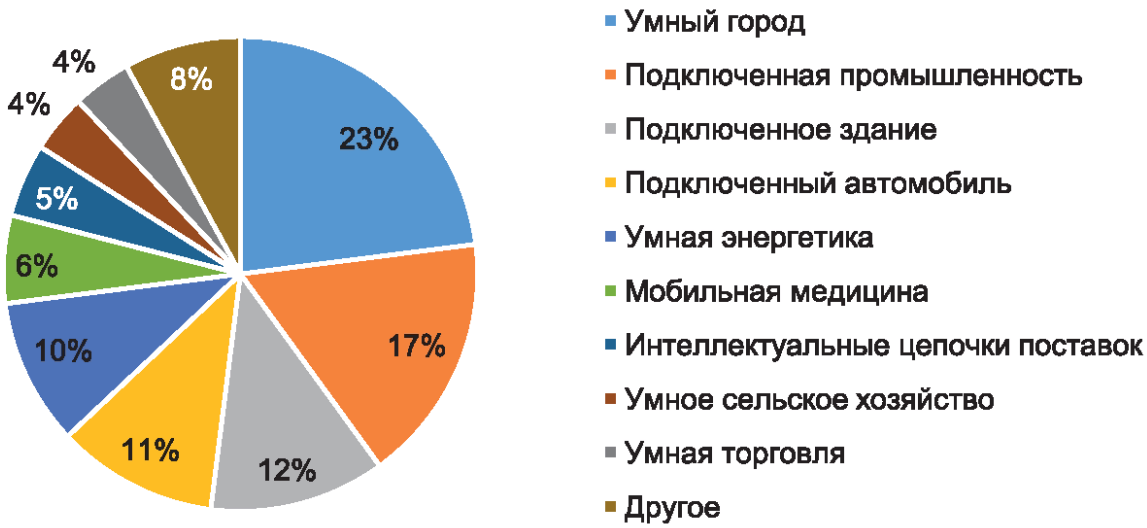



Рис. 32 – Отраслевая структура рынка IoT в 2018 г. (количество проектов)
Источник: The Official Website of IoT Analytics /
Режим доступа: https://iot-analytics.com (дата обращения 16.01.2020) [149].

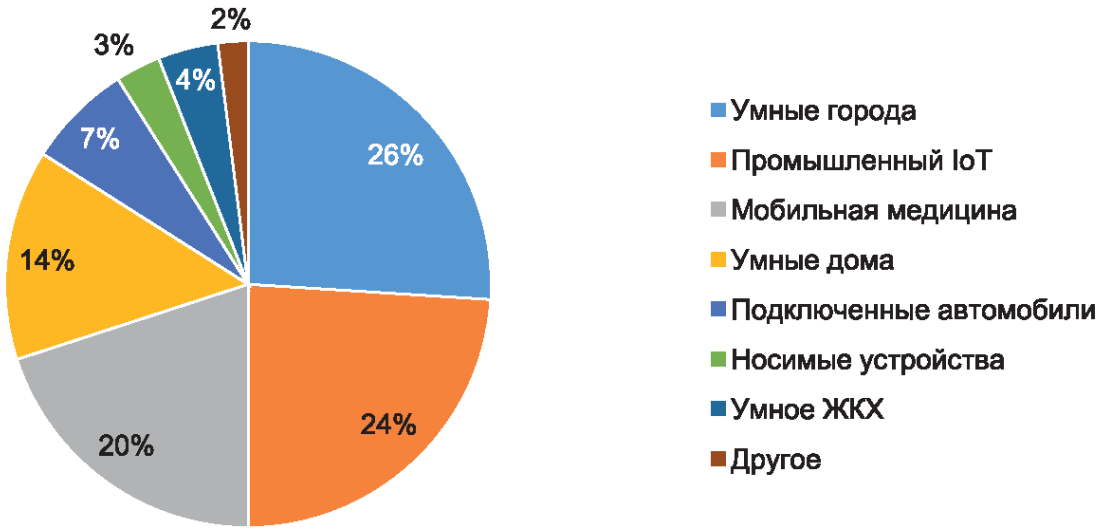



Рис. 33 – Отраслевая структура рынка IoT в 2020 г. (денежная оценка)
Источник: Market Pulse Report, IoT / GrowthEnabler, 2017. – 19 p. [150].

**Географическая структура мирового рынка интернета вещей**

Аналитическая компания MarketsAndMarkets назвала Северную Америку самым большим рынком IoT по состоянию на 2016 г. Причины успеха технологий IoT в этом регионе заключаются в развитой экосистеме информационных технологий и быстром внедрении IoT решений в различных областях. Однако уже по итогам 2016 г. стал прогнозироваться бурный рост рынков стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР).

Объясняется это действием четырех факторов. Первый – массивные инвестиции компаний, второй – растущий уровень проникновения интернета в различные среды, третий – большое число потенциальных потребителей IoT и четвертый – постоянный процесс совершенствования ИТ-инфраструктуры. Соответственно, по оценкам IDC в 2018 г. самым большим рынком интернета вещей станет АТР (без учета Японии). Его доля составит 40% от мирового рынка (Рис. 34). На страны Северной Америки и Европы придется 26% и 21% соответственно. Однако самые быстрые темпы роста будут наблюдаться в странах Латинской Америки: CAGR в 2016–2021 гг. составит 28,3% [151].

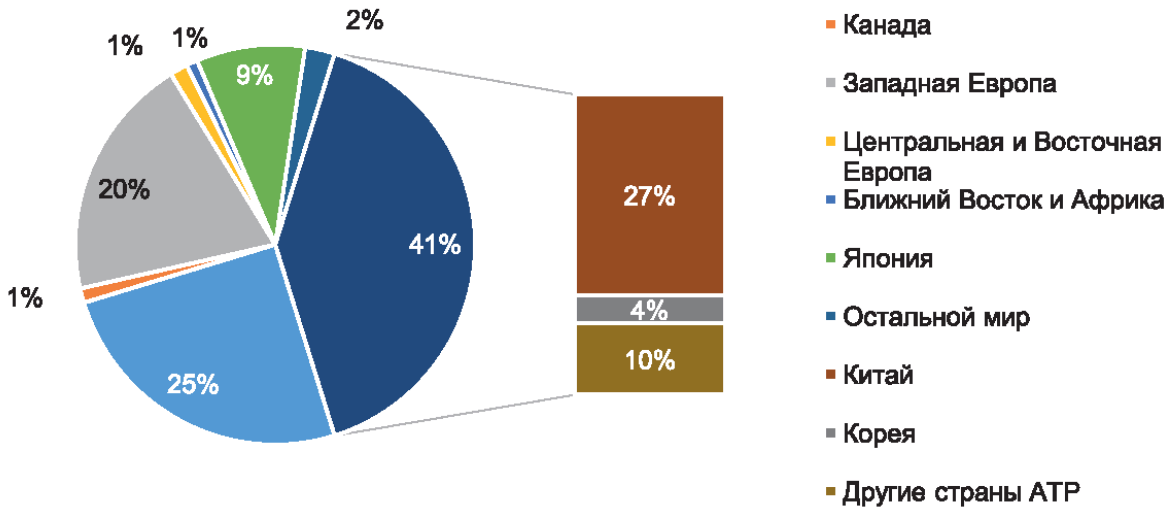



Рис. 34 – Географическая структура рынка IoT в 2018 г.

Источник: Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. – М.:ООО«Лайм», 2019. – 272 с. [83].

Если рассматривать географическую структуру по странам, а не регионам, то лидером является Китай с общим объемом затрат на IoT в размере 209 млрд. долл. (27% мирового рынка). Однако рынок США, основными драйверами которого являются производство, транспорт и потребительский сегмент, незначительно уступает по своим размерам Китаю, занимая четверть мирового рынка. Третье и четвертое места занимают Япония (68 млрд. долл.) и Корея (29 млрд. долл.) В обеих этих странах основным отраслевым сегментом является промышленность.

### 3.4 Мировой рынок технологий связи на транспорте

В настоящее время нет стандартизированной технической базы для обмена данными между автомобилем и другими дорожными объектами, известной также как Vehicle-to-Everything или V2X. Вместо этого в будущем транспортные средства будут обмениваться данными с использованием самых разных способов связи, применяемых конкретными автопроизводителями и в конкретных странах по всему миру. В настоящее время в мире идет борьба стандартов ITS-G5/DCRS и C-V2X. ITS-G5 продвигается альянсом «Car2Car Communication Consortium» и ассоциацией C-Roads. C-v2x продвигается альянсом 5GAA (5G Automotive Association) и поставщиками телеком-оборудования и чипсетов [191].

Технологии V2X развиваются с высокими темпами, об этом говорит множество проектов по всему миру на данную тематику. Рассмотрим хронологию развития технологии в отдельных регионах за последние несколько лет [151].

В США:

- 2011 - пилотные проекты Google, Toyota, Uber по беспилотным автомобилям используют сети V2X;
- 2011 - пилотный проект в г. Анн-Арбор, оборудовано 2800 ТС и 100 км дорог;
- 2013 - пилотный проект министерства транспорта США Connected Vehicle Certification Project;
- 2014 - опубликован отчет министерства транспорта США в котором определены фазы внедрения технологии V2X;
- 2015 - выделено 43 млн. долларов для создания пилотных зон в городах Нью-Йорк, Тампа и в штате Вайоминг;
- 2019 - утверждение стандарта FMVSS-150, предусматривающего обязательность оснащения всех новых легковых транспортных средств системами V2V.

В Европе:

- 2012 - создан консорциум Car2Car (более 90 компаний производителей автомобилей и электронного оборудования);
- 2013 - утверждены стандарты ETSI EN и CEN в сфере кооперативных интеллектуальных транспортных систем (Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS);
- 2015 - организованы пилотные проекты по беспилотным автомобилям компаниями BMW, Mercedes, Volvo с использованием сетей V2X;
- 2015 - приняты общеевропейские программы строительства расширенной дорожной инфраструктуры вдоль основных транспортных коридоров;
- 2016 - создание Европейского альянса автопроизводителей и телекоммуникационных компаний;
- 2019 - планируется широкомасштабное внедрение C-ITS в странах Европы.

В Японии:

- 2011 - внедрено более 2000 «ITS Spots», взаимодействующих с бортовым оборудованием транспортных средств, с предоставлением ограниченного спектра V2X сервисов (информация о трафике и маршрутах объезда, сообщения безопасности, сбор информации о скорости движения, оплата проезда по платным дорогам);
- 2017 - Принята программа до 2030 года по обязательному оборудованию транспортных средств устройствами V2X.

Основными лоббистами технологии ITS-G5 являются Volkswagen и Renault, а также и Toyota, которая надеется на сбыт своих подключенных автомобилей на рынке США, где эта технология известна под названием

WAVE. Стандарт C-V2X на базе 5G поддерживают BMW, Daimler, PSA Group, Ford, Ericsson, Huawei, Qualcomm, Intel, Vodafone, Samsung, Deutsche Telekom [122].

В мире идет активная фаза испытаний технологий C-V2X:

В США министерство транспорта Колорадо проводит испытания C-V2X на 90-мильном участке горной трассы I-70, которая имеет крутые склоны, крутые повороты и туннели и подвержена экстремальным зимним погодным условиям. На CES 2019 Applied Information, которая предоставляет интеллектуальную транспортную инфраструктуру, сообщила, что ее продукты C-V2X уже развернуты в более чем 500 городах, округах, школьных округах и штатах США. Компания обеспечивает сотовую связь с светофорами, маяками школьной зоны, устройствами управления движением и транспортными средствами скорой помощи.

В Европе Bosch, Huawei и Vodafone Germany успешно протестировали C-V2X на автостраде A9 в Баварии, Германия, в то время как Deutsche Telekom объявил о тестировании C-V2X вместе со Skoda Auto в Чешской Республике в рамках европейских C-Roads проект. Vodafone также работает с Continental над созданием «цифрового защитного экрана» для велосипедистов и пешеходов, используя прямую связь C-V2X и периферийные вычисления в первых развертываниях 5G. Испытания, готовые к работе с 5G, проводятся в реальных условиях в лаборатории Vodafone 5G Mobility Lab в Альденховене, Германия.

В Китае более 20 испытаний и пилотных проектов C-V2X проводятся на 100 км дорог в 10 провинциях. Китай планирует установить C-V2X на 90% автомобильных дорог страны к 2020 году в соответствии со стратегическим планом, опубликованным Национальной комиссией по развитию и реформам [36], а 15 автопроизводителей объявили о планах выпуска автомобилей, поддерживающих C-V2X, для китайского рынка.

### 3.5 Мировой рынок технологий многопрофильных СИМ-карт

Согласно аналитическому исследованию, проведенному компанией MarketsandMarkets в 2017 г., общий рынок многопрофильных СИМ-карт оценивался в 179,6 млн. долл. в 2017 г. и, по оценкам, достигнет 978,3 млн. долл.к 2023 г., со среднегодовым темпом роста CAGR 31,0% в период между 2018 и 2023 гг. В количественном выражении объем рынка многопрофильных СИМ-карт оценивался в размере 287,7 млн. ед. в 2016 г. и, достигнет 1 168,8 млн. ед. к 2023 г., при среднегодовом темпе роста CAGR 32,4%. Рост объясняется акцентом на дистанционное предоставление многопрофильной СИМ-карте возможности реализации технологии M2M, благоприятному государственному регулированию в этой области, и быстрым темпам внедрения технологии IoT (интернет вещей) [144].

Возрастающее проникновение интернета в сочетании с растущим внедрением IoT в такие области, как автомобильная, потребительская электроника, энергетика и коммунальные услуги, производство, розничная торговля, транспорт и логистика, благоприятно сказывается на росте рынке технологии многопрофильных СИМ-карт. В настоящее время рынок многопрофильных СИМ-карт играют ключевую роль в приложении M2M, благодаря возможности удаленной прошивки и высокой безопасности. Отрицательно влияние на рост рынка многопрофильных СИМ-карт оказывает факт отсутствия стандартизации в протоколах подключения.

Прогнозируется, что лидерами потребления технологии многопрофильных СИМ-карт в 2023 г. станет северо-американский, европейский и азиатский регионы. (см. Рис. 35).

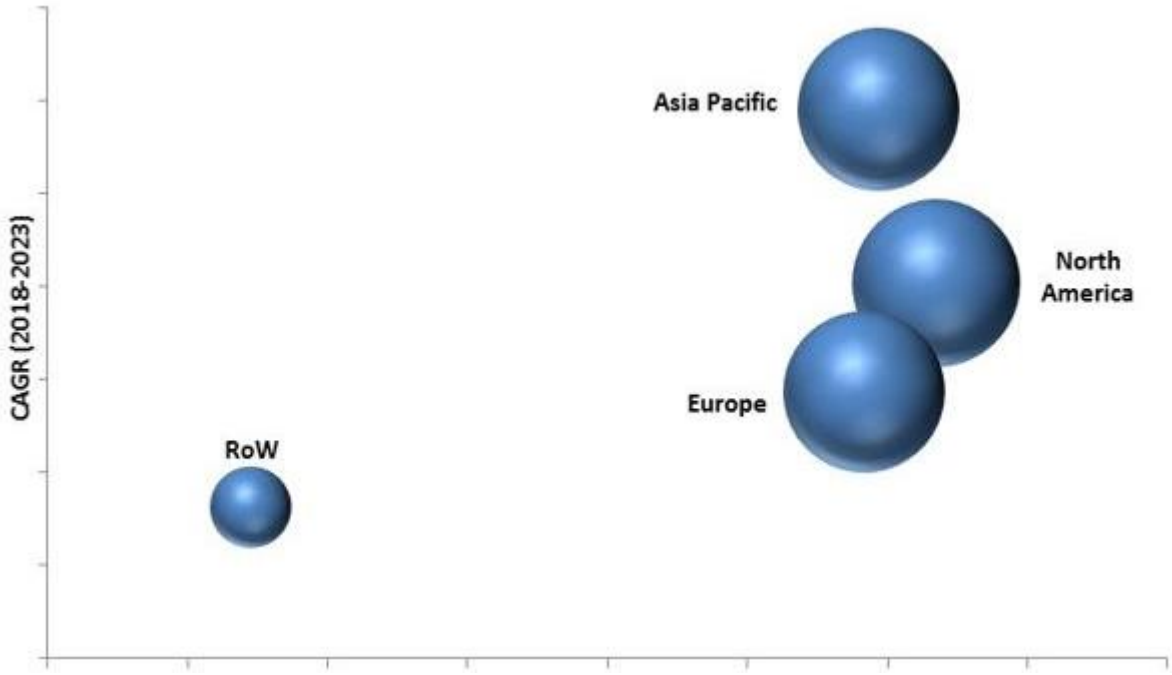



Рис. 35 – Прогноз рынка многопрофильных СИМ-карт по регионам на 2023 г.
Источник:.The Official Website of Markets & Markets / Режим доступа: https://www.marketsandmarkets.com (дата обращения: 15.01.2020) [144].
Примечание: RoW – rest of world (остальной мир)

Рынок технологии многопрофильных СИМ-карт включает в себя следующие направления [153]:

- Межмашинное взаимодействие (M2M). Например, интеллектуальные счетчики автоматически передают показания на компьютер или интеллектуальная пожарная сигнализация предупреждает о включении разбрызгивателей при повышении уровня дыма. В этом случае многопрофильная СИМ-карта позволит приборам соединиться с самой надежной сетью и действовать соответственно обстоятельствам.
- Носимые и сопутствующие устройства. Компания Apple внедрила технологию многопрофильных СИМ-карт в часы Apple Watch Применение технологии позволит устройству отслеживать уровень физической подготовки и активности во время пробежки, даже вдали от мобильного телефона. Это имеет большее значение для

носимых устройств в здравоохранении - например, пациент будет всегда на связи, и его состояние будет всегда под контролем.

- Смартфоны. Технология многопрофильных СИМ-карт уже появилась в смартфонах Google Pixel2 и Google Pixel2XL. Компания Google использует многопрофильную СИМ-карту, чтобы предлагать клиентам фиксированную скорость передачи данных независимо от их местоположения.
- Планшеты и ноутбуки. Технология многопрофильных СИМ-карт может заменить накопители и СИМ-карты в этих устройствах, что делает их использование гораздо удобнее. Станет намного удобнее получить доступ к сотовым данным с любого устройства в любое время, без необходимости использования нескольких учетных записей или СИМ-карт.
- Автономные транспортные средства. Встроенная многопрофильная СИМ-карта в автомобилях используется для навигации в реальном режиме времени, информационно-развлекательных услуг, таких как информация о погоде, дорожное движение, а также услуги страхования. Использование многопрофильных СИМ-карт позволит дистанционно контролировать состояние автомобиля, осуществлять аварийный вызов в случае возникновения аварийной ситуации, либо если водитель потеряет сознание. Как ожидается, в ближайшие несколько лет автомобильная отрасль станет одной из наиболее перспективных областей применения многопрофильных СИМ-карт, предоставляя поставщикам на рынке возможности для роста.

На Рис. 36 приведен прогноз поставок многопрофильных СИМ-карт, выполненный компанией IHS Markit. Согласно приведенным данным скорость адаптации технологии eSIM составляет порядка 5 лет.

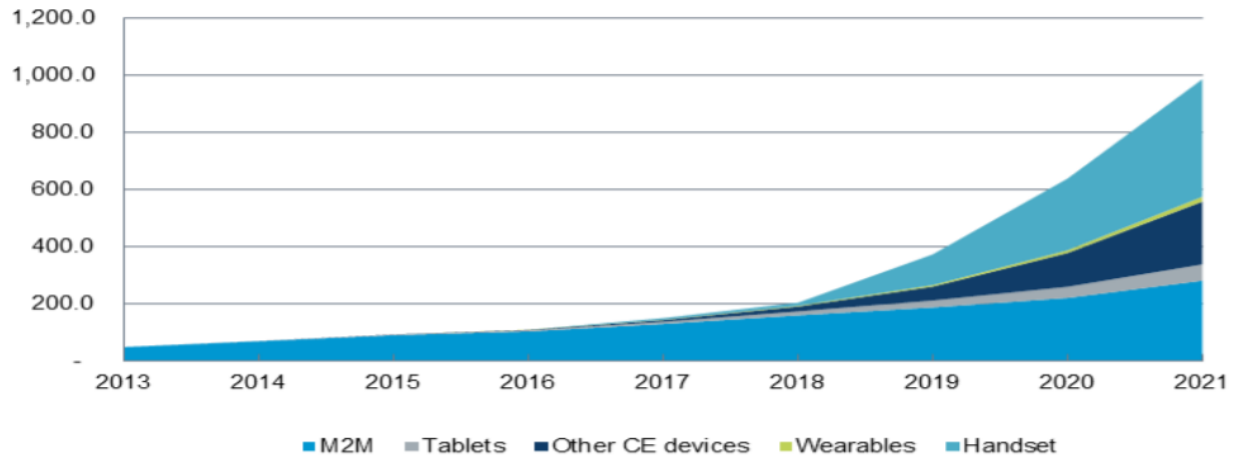



Рис. 36 – Прогноз поставок многопрофильных СИМ-карт до 2021 г. (млн. ед.)
Источник:.Digital Security Report / IHS Markit, 2017. – Vol. 3. – 4 p. [154].

В 2018 г. по всему миру было выпущено 364 млн устройств (в том числе автомобилей) с поддержкой технологии eSIM, что на 63% больше, чем годом ранее. Об этом свидетельствуют данные аналитиков Counterpoint Technology Market Research, отраженные на Рис. 37

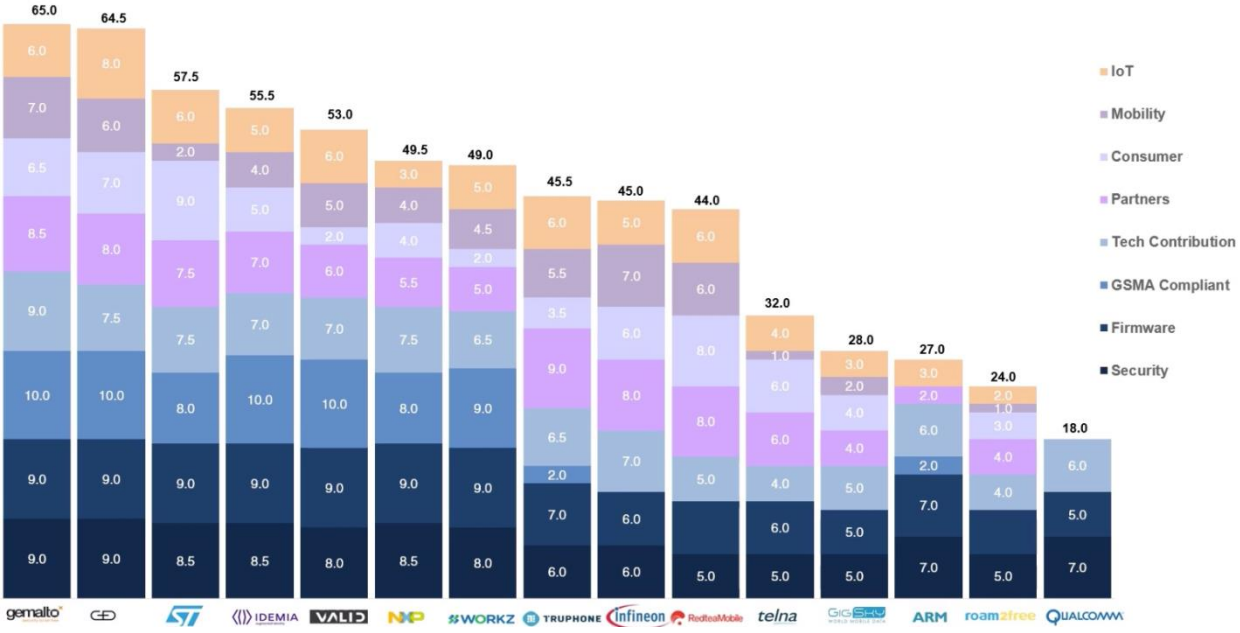



Рис. 37 – Крупнейшие производители чипов eSIM в 2018 г.
Источник:. Tadviser. Государств. Бизнес. ИТ /
Режим доступа: http://www.tadviser.ru (дата обращения: 03.12.2019) [180].

Согласно Рис. 37 крупнейшим производителем чипов eSIM по итогам 2018 г. названа компания Gemalto, которая поставила около 65 млн.

микросхем. В непосредственной близости к лидеру расположилась Giesecke+Devrient (64,5 млн.), а топ-3 замкнула STMicroelectronics (57,5 млн). Лидерство компаний было обосновано обширным партнёрским каналом, сертификацией GSMA и созданием комплексных решений eSIM [180].

**ВЫВОДЫ:**

1. Инфраструктурным базисом цифровой экономики России и мира будут сети связи новых поколений, а в сегменте сотовой связи – сети на основе технологий мобильной связи пятого поколения как наиболее соответствующие вызовам цифровой экономики и возможностям трансформации производственных бизнес-процессов на основе сквозных технологий.
2. По прогнозам, число соединений 5G в мире в конце 2020 г. составит 1% от общего числа подключений, после чего внедрение 5G ускорится, и доля достигнет 16% к концу 2025 г. К этому времени число 5G подключений будет составлять 1,4 млрд. На региональном уровне, Северная Америка достигнет наибольшего уровня проникновения 5G на рынок, при этом учитывается, что почти половина соединений будет иметь доступ к услугам 5G к 2025 г.
3. Начиная с 2014 г. прогнозы аналитиков по темпам роста рынка IoT несколько снизились из-за не оправдавшихся по ряду направлений ожиданий, таких как быстрое введение новых стандартов, обеспечением требуемого уровня безопасности и конфиденциальности. Соответственно, новые прогнозы роста оказались более консервативными: технологии, обеспечивающие работу интернета вещей, развиваются не так быстро. В отраслевом разрезе рост рынка IoT будет обеспечен такими сегментами, как дискретное производство, транспорт, ЖКХ, потребительский сегмент и страхование. Также будут развиваться такие межотраслевые направления, как «Умный город» и «Подключенная Промышленность». Интернет вещей будет наиболее активно использоваться для

предиктивного обслуживания, автоматической оптимизации производства, V2X. В географическом разрезе главным трендом является укрепление позиций Азиатско-Тихоокеанского региона во главе с Китаем.

4. В автомобильной среде активно внедряются стандарты связи ITS-G5/DCRS и C-V2X. Многие страны ведут испытания соответствующих технологий. Между компаниями наблюдается высокий уровень конкуренции. Данные проекты помогут улучшить безопасность на дорогах и управление трафиком в городах.
5. В настоящее время глобальный рынок многопрофильных СИМ-карт только зарождается и будет активно развиваться в ближайшие годы. В 2017 г. общий объем рынка многопрофильных СИМ-карт оценивался в 179,6 млн. долл. Основными драйверами роста рынка эксперты называют возможность реализации технологии M2M, а также внедрение IoT. Лидерами потребления технологии многопрофильных СИМ-карт до 2023 г. будут северо-американский, европейский и азиатский регионы.
6. Ожидается, что в ближайшие несколько лет автомобильная отрасль станет одной из наиболее перспективных областей применения многопрофильных СИМ-карт, предоставляя поставщикам на рынке возможности для роста. В 2018 г. по всему миру было выпущено 364 млн. устройств (в том числе автомобилей) с поддержкой технологии eSIM, что на 63% больше, чем годом ранее. По итогам 2018 г. крупнейшими производителями чипов eSIM были компании Gemalto, Giesecke+Devrient и STMicroelectronics.

# ГЛАВА 4. Состояние и перспективы развития российского рынка технологий беспроводной связи

## 4.1 Российский рынок технологий мобильной связи

### Анализ российского рынка мобильной связи

На сегодняшний день Россия является относительно зрелым рынком мобильной связи с показателем проникновения для уникальных абонентов 89% на конец 2018 г. Эта цифра останется практически неизменной до 2025г. Показатель проникновения мобильной связи в России выше уровня развитых странах мира и среднего европейского уровня, которые составляют 84% и 85% соответственно.

Несмотря на то, что Россия выгодно отличается высокой доступностью мобильных услуг, развертывание высокоскоростных сетей 4G идет медленнее, чем на многих развитых рынках. В конце 2018 г. менее одной трети соединений в стране приходилось на 4G, тогда как в Европе этот показатель был на уровне 50%.

Однако в последние годы все ведущие российские операторы вкладывают значительные средства в развертывание сетей 4G с целью увеличения скорости и зоны покрытия сети. Например, компания МегаФон увеличила охват населения сетями 4G с 50% (уровень 2014 года) до почти 80% в 2018 г., а сети LTE-Advanced (LTE-A) теперь доступны в 46 регионах России. Компания Veon развернула 11 000 дополнительных базовых станций LTE в 2018 г., а оператор «Мобильные ТелеСистемы» (МТС) недавно начал крупномасштабное развертывание сетевой инфраструктуры LTE в небольших и удаленных населенных пунктах, используя рефарминг частот 3G в диапазоне 2,1 ГГц и интегрируя их в действующие узлы UMTS- 2100. Это соответствует инициативе МТС по расширению своей сети LTE-2100 для покрытия 19 регионов страны. Цель компании – охватить еще 20 регионов к концу текущего года.

Благодаря этим инвестициям в стране можно наблюдать быстрый переход на технологии 4G (см. . Прогнозируется, что в течение следующих пяти лет доля 4G-подключений увеличится более чем вдвое и достигнет двух третей от общего количества соединений к 2023 году. Фактически доля устройств, поддерживающих широкополосную мобильную связь (3G, 4G и 5G) к этому времени достигнет 97%.

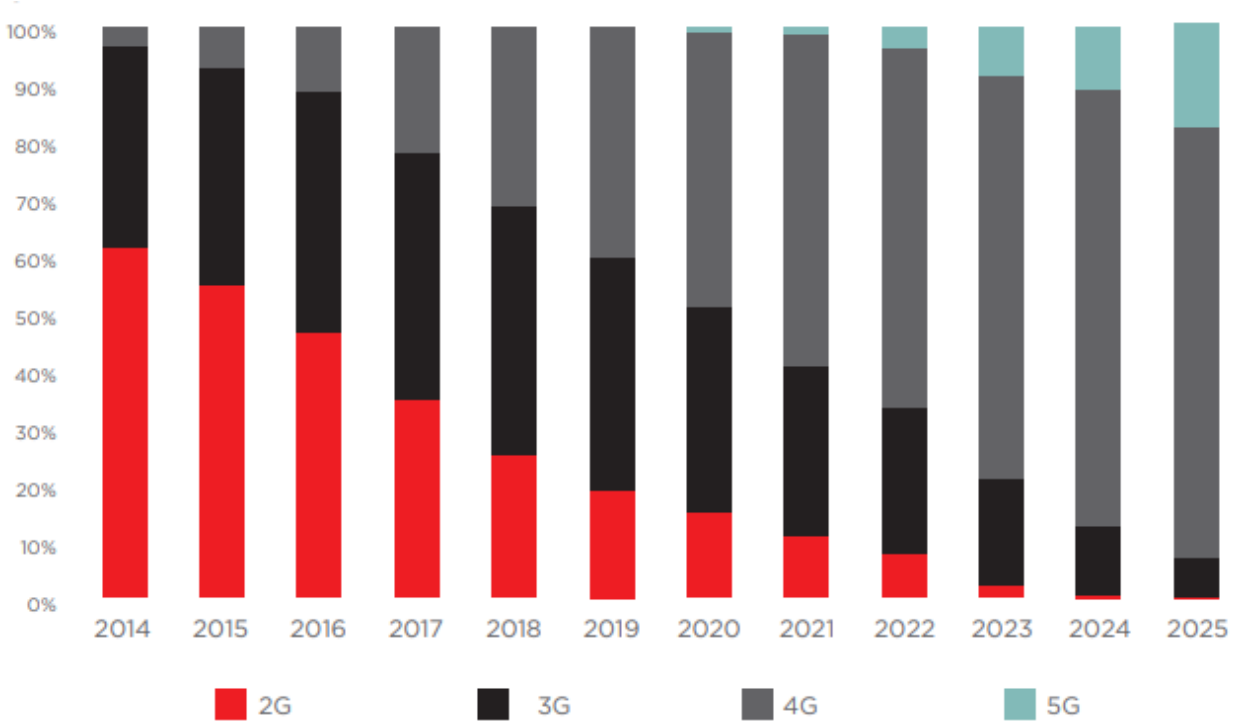



Рис. 38 – Процент подключаемости к мобильным сетям в России
Источник: Развитие 5G в России и мире: взгляд в будущее / GSMA, 2019. – 28 с. [179].

К концу 2018 г. на долю смартфонов в России приходилось чуть более 60% мобильного трафика, что также ниже среднего показателя развитых рынков (73%). На такое положение вещей влияет ряд факторов, в том числе тот факт, что Россия в значительной степени является рынком предоплаченных услуг с ограниченным набором субсидий и вариантов финансирования. Впрочем, ускоренный переход на 4G увеличивает число владельцев смартфонов в стране. По прогнозам, к 2025 г. на смартфоны будет приходиться почти 80% соединений.

Несмотря на отставание в области распространения смартфонов, российские пользователи мобильной связи уже генерируют большие объемы

трафика, при этом операторы разрабатывают ряд новых цифровых услуг для увеличения доходов и стимулирования использования данных. Как и в других регионах, в России основным движущим фактором роста трафика остается передача видео. К инициативам операторов можно отнести запуск платформ Veon BeeLine TV (услуги прямого вещания и видео по запросу) и MegaFon TV, которая к концу 2018 г. насчитывала более миллиона ежемесячных активных пользователей. Другие инициативы российских операторов в области цифровых услуг включают инструменты электронной торговли, музыкальные сервисы и финансовые услуги. Также широко используется мобильное приложение МТС «Мой МТС» (14,1 млн. пользователей на конец 2018 г., что на 50% больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года), которое включает более 25 приложений, охватывающих широкий спектр услуг от развлечений до финансовых сервисов.

Оператор МегаФон объявил, что в 2018 г. только объем трафика 4G вырос на 63%, а компания МТС сообщила о 56-процентном росте объема передачи данных через смартфоны в последнем квартале года, при этом общий объем такого трафика за квартал достиг 866 118 терабайт. Данные CISCO указывают, что в 2017 г. на российском рынке было сгенерировано больше мобильного трафика, чем в Северной Америке и Западной Европе. Ускорение перехода на 4G (и первая фаза внедрения 5G) и распространение смартфонов приведет к дальнейшему росту объемов передачи данных. Согласно прогнозу CISCO, объем потребительского мобильного трафика в России достигнет 3 экзабайт в месяц к 2022 г. (в 2017 г. этот показатель составил 508 петабайт). Соответствующие сведения приведены на Рис. 39

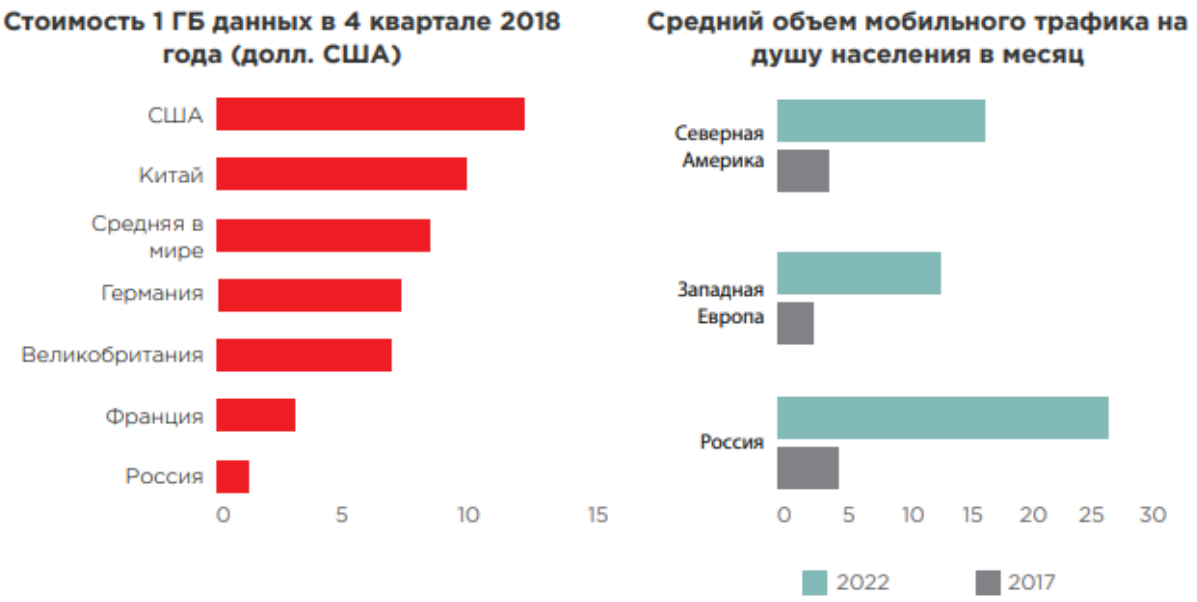



Рис. 39 – Стоимости и объем данным мобильного трафика
Источник: Развитие 5G в России и мире: взгляд в будущее / GSMA, 2019. – 28 с. [179].

Рост объема трафика данных вызван сильной конкурентной борьбой в России. В стране можно встретить одни из самых низких цен на мобильные данные в мире, что также влияет на средний доход на пользователя (ARPU). Хотя в последние годы операторы пытались отказаться от безлимитных тарифных планов, в последние кварталы такие предложения появились вновь. Недавнее исследование цен на мобильные данные в 237 странах показало, что цены на данные в России значительно ниже среднего мирового уровня, а также уровня многих развитых стран.

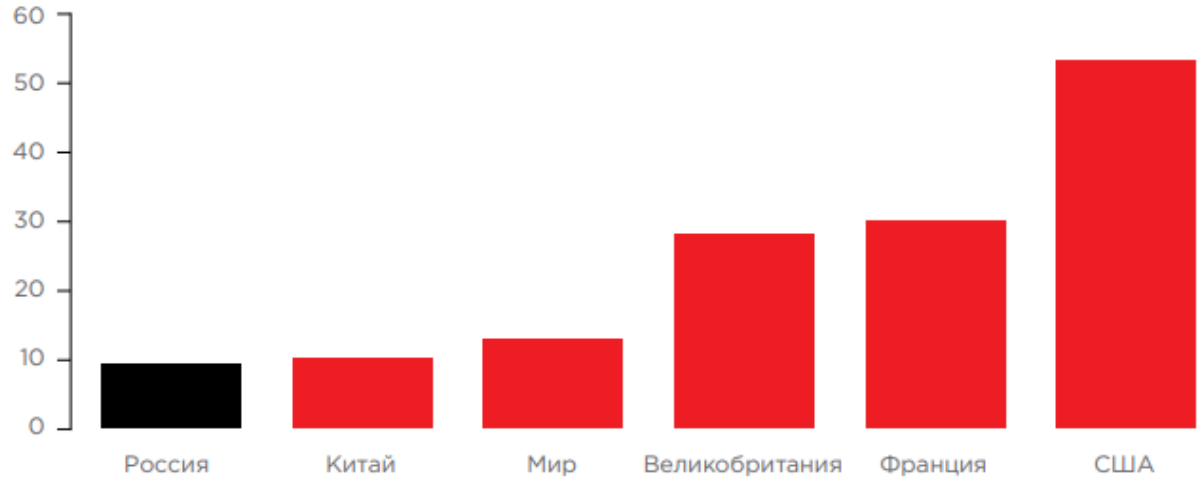



Рис. 40 – Показатель среднего дохода на пользователя мобильных данных
Источник: Развитие 5G в России и мире: взгляд в будущее / GSMA, 2019. – 28 с. [179].

В результате средний доход на пользователя для российских операторов в настоящее время является одним из самых низких среди развитых рынков. По результатам последних кварталов наблюдаются признаки увеличения показателя ARPU, но перспективы получения прибыли в России, вероятно, останутся слабыми, пока операторы не найдут способ более эффективно монетизировать продолжающийся бурный рост объема трафика и не определят новые источники доходов. Что касается последнего пункта, технологии 5G имеют определенный потенциал, хотя новые источники значительных доходов вряд ли удастся найти в ближайшее время. Возникшая не так давно тенденция положительной динамики доходов (см. Рис. 41), скорее всего, продолжится в 2019 г., однако, рост доходов в среднесрочной перспективе до 2025 г. будет более сдержанным.

Рис. 41 – Доходы рынка мобильной связи в России
Источник: Развитие 5G в России и мире: взгляд в будущее / GSMA, 2019. – 28 с. [179].

### Испытания 5G в России

Российские операторы уже несколько лет проводят тестирование технологий 5G с использованием прототипов и стандартов pre-5G. Одновременно с тестированием некоммерческого оборудования 5G российские операторы внедряют сети LTE-A, поддерживающие возможности

NB-IoT и антенны massive MIMO для работы в частотном диапазоне 2,6 ГГц, которые станут фундаментом для перехода на стандарт 5G.

Наиболее масштабные испытания 5G состоялись в 2018 г. во время проведения Чемпионата мира по футболу. Во время чемпионата компания МТС развернула демонстрационные зоны 5G на разных площадках мероприятия, чтобы дать пользователям возможность оценить ряд преимуществ 5G, в том числе видеозвонки в высоком разрешении, видеоигры со сверхнизкой задержкой и потоковое видео высокой четкости. Компания МегаФон также провела испытания, в том числе тест автономного автобуса (диапазон частот 3,4–3,8 ГГц), перевозившего болельщиков между фан-зоной и стадионом «Казань-Арена». Кроме того, оператор организовал трансляцию в формате виртуальной реальности в диапазоне частот 28 ГГц во время матча между сборными России и Турции. Компания «Ростелеком» проводила испытания совместно с Ericsson в Государственном Эрмитаже в Санкт-Петербурге, где демонстрировалось дистанционное управление роботом-манипулятором, предназначенным для реставрации произведений искусства. Кроме того, компания совместно с Nokia развернула пилотную зону 5G в Сколково.

А недавно, в октябре 2018 г., компании Beeline и Huawei провели в Музее Москвы демонстрацию высокой пропускной способности и низкой задержки технологий 5G в полосе частот 28 ГГц, организовав диалог между докладчиками с использованием технологий голограмм и очков смешанной реальности (MR).

Помимо демонстрации потенциала будущих новых услуг, были проведены дополнительные испытания для изучения вопросов, связанных с совместным использованием и совместимостью при работе в новых диапазонах частот для сетей 5G. В Москве была создана специальная тестовая зона, использующая диапазон частот 27 ГГц, для оценки степени негативного воздействия на функционирование станций спутников связи. Испытание показало, что сосуществование возможно при условии

тщательного планирования сетей 5G с учетом земных станций. Что касается диапазона частот 3,4–3,8 ГГц, с целью изучения возможного воздействия на функционирование земных станций фиксированной спутниковой связи было развернуто несколько тестовых зон в Московской, Калужской и Тверской областях. Проведенные тесты выявили потенциал возникновения серьезных проблем в случае развертывания сетей 5G в этом диапазоне частот без перевода земных станций за пределы крупных городов и без должной сегментации диапазона.

На 2019 г. запланировано проведение дополнительных тестов как для оценки новых решений и сценариев использования, так и для изучения ряда задач, связанных с совместным использованием спектра частот и совместимостью. Однако из-за сложной ситуации со спектром частот в диапазонах 3,4–3,8 ГГц регулирующий орган предложил проводить тесты в диапазонах 4800– 4990 МГц и 24,25–27,5 ГГц. Готовность выбранных полос частот для коммерческого развертывания будет зависеть от доступности соответствующего оборудования.

## Перспективы внедрения 5G в России

Российские операторы по-прежнему сосредоточены на развертывании 4G, и эта технология еще не исчерпала свой потенциал. В отношении технологий 5G Россия находится в числе рынков второй волны запусков. И все же отрасль в целом получает ряд преимуществ, выступая «последователем», — это позволяет снижать цены на оборудование по мере роста производства и развития технологий, а также сокращать бремя инвестиций в краткосрочном периоде. Операторы уже сталкиваются с рядом потребностей в инвестициях, обусловленных, помимо дальнейшего расширения 4G, реализацией первого этапа внедрения 5G и затратами на исполнение нового закона Яровой.

Ожидается, что первые коммерческие сети 5G в России начнут появляться в 2020 г., а количество подключений 5G к 2025 г. достигнет

46 млн. Это 20% от общего числа подключений с охватом 60% населения. Согласно этому прогнозу, показатели роста в России превысят среднемировой уровень, но при этом будут ниже уровня ведущих рынков 5G – США, Южной Кореи и Китая, как показано на Рис. 42.

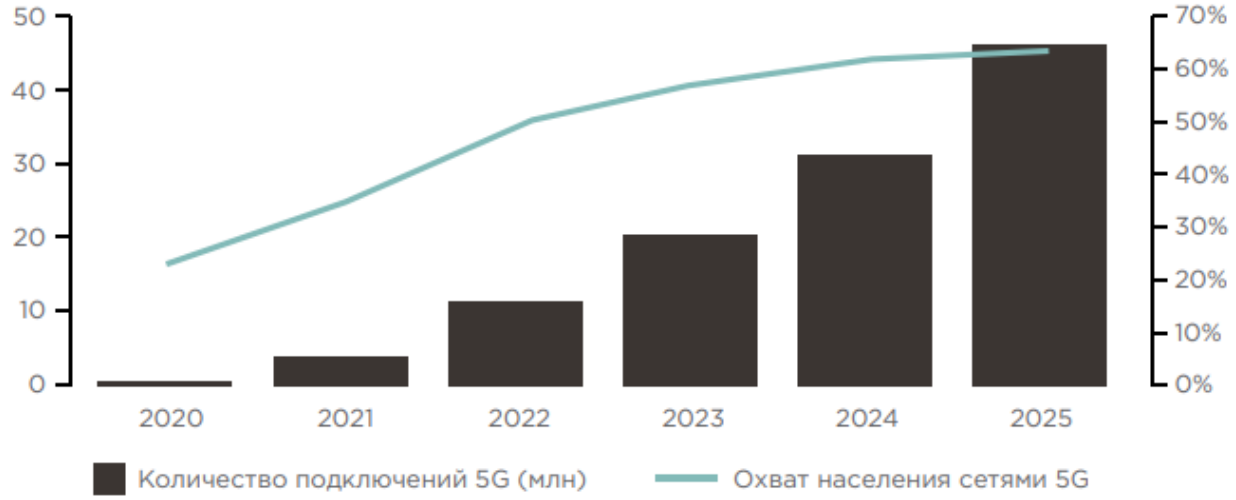



Рис. 42 – Прогноз внедрения 5G в России

## 4.2 Российский рынок технологий интернета вещей

### Анализ российского рынка интернета вещей

Оценки российского рынка интернета вещей неоднозначны. По данным опроса отечественных экспертов, проведенного аналитическим агентством TAdviser, по итогам 2017 г. рынок IoT в России оценивается в широких границах от 40 до 600 млрд. рублей. Нет среди экспертов и консенсуса по поводу структуры. Например, оценки доли промышленного интернета вещей варьируются от 20% до 95% [180]. На Рис. 43 представлены оценки некоторых аналитических агентств.

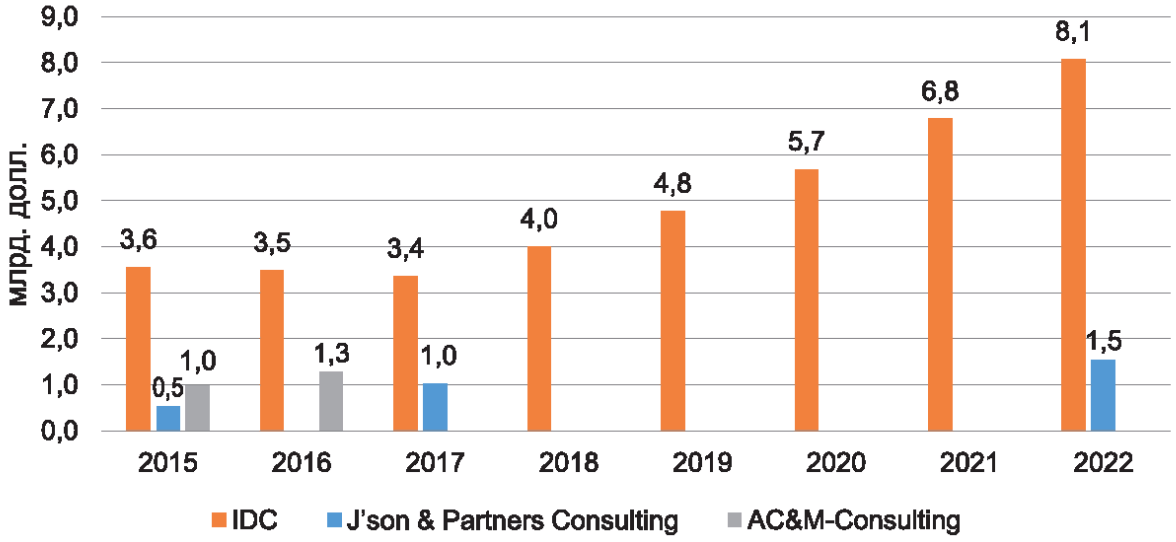



Рис. 43 – Оценки российского рынка интернета вещей в 2015–2022 гг. (млрд. долл.)

Источник: Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. – М.:ООО«Лайм», 2019. – 272 с. [83].

Международная компания IDC оценивает российский рынок и перспективы его роста в разы выше, чем российские компании J&P и AC&M Consulting. Возможно, это связано с тем, что российские агентства оценивают рынок межмашинных коммуникаций (M2M), а не рынок интернета вещей. В своем отчете, выпущенном в начале 2018 г., J&P объясняет, что рынок интернета вещей на самом деле еще не сформировался и является в большей степени рынком распределенных систем телеметрии.

По данным IDC, объем российского рынка в 2018 г. составит 4 млрд. долл., а CAGR за 2017–2022 гг. – 19,2% [181]. Следовательно, аналитики IDC прогнозируют, что в 2022 г. объем рынка интернета вещей в России составит 8,1 млрд. долл. Основными драйверами рынка являются цифровая трансформация компаний, создание экосистемы и рост взаимодействия поставщиков решений, а также государственная поддержка. Также положительное влияние оказали первые успешные проекты, посвященные сбору данных и интеграции решений интернета вещей с существующими ИТ-системами. Тем не менее, по сравнению с более ранними отчетами IDC, оценки темпов роста снижены. Ранее для периода

2017-2021 гг. прогнозировался CAGR 22% и объем рынка более 9 млрд. долл. к 2022 г. [182]. Кроме общей тенденции к корректировке оценок рынка в сторону понижения, характерной не только для России, можно отметить и влияние специфического российского фактора – укрепление рубля.

Российская аналитическая компания J&P в 2017 г. оценила объем рынка IoT/M2M в 60 млрд. руб., или чуть более 1 млрд. долл. по среднегодовому курсу доллара за 2017 г. По данным этой компании, к 2022 г. объем рынка составит 90 млрд. руб. (1,5 млрд. долл.17, CAGR 8,4%). Несмотря на то, что оценки J&P значительно ниже прогнозов IDC, эта компания также придерживается мнения, что рынок интернета вещей будет устойчиво расти как в денежном, так и в физическом выражении. По прогнозам J&P количество подключенных устройств должно вырасти с 15,9 млн. в 2016 г. до 43 млн. в 2022 г., что составляет CAGR в 18%. При этом основным фактором роста считается вытеснение облачными сервисами текущих проприетарных телеметрических решений [162].

По оценкам AC&M Consulting, на конец 2016 г. объем российского рынка составил 85 млрд. руб. [183]. В свою очередь, исследование Orange Business Services и iKS-Consulting посвящено российскому бизнес-сектору (enterprise) «Интернета Вещей». Предполагалось, что в 2018 г. рынок IoT составит 20,8 млрд. рублей с перспективой роста к 2020 г. до 30 млрд. руб. (CAGR 12% в год) [184].

Пока доля российского рынка IoT в четыре раза ниже доли России в мировом ВВП (Рис. 44), что свидетельствует об отставании развития интернета вещей. Тем не менее, по прогнозам IDC к 2022 г. это отставание должно сократиться.

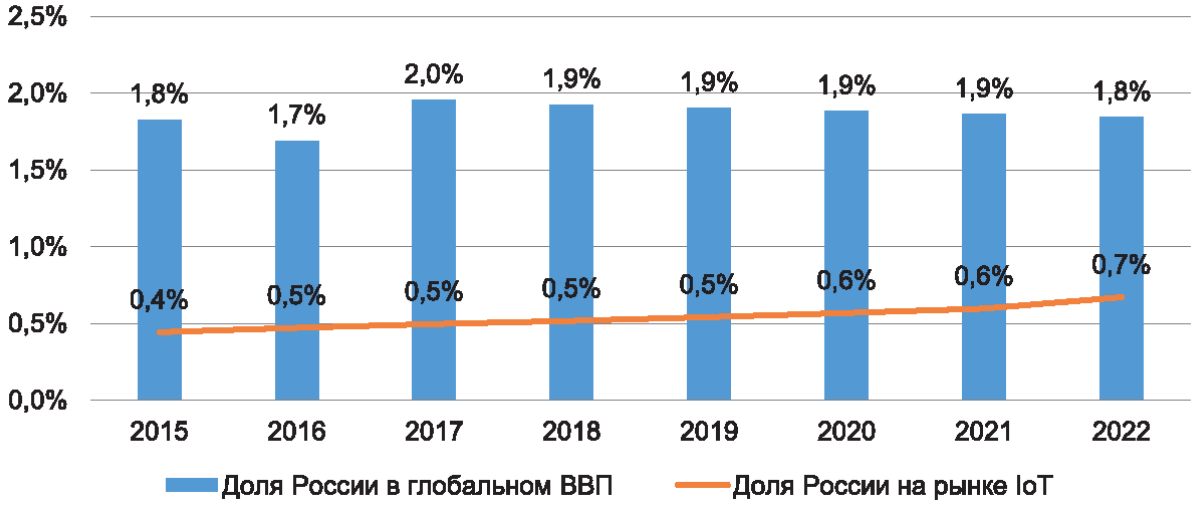



Рис. 44 – Доля России в мировом ВВП по текущим ценам и сравнение с оценками доли рынка IoT в 2015–2022 гг.

Источник: Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. – М.:ООО«Лайм», 2019. – 272 с. [83].

Однако есть и сдерживающие рост факторы, к которым можно отнести неуверенность участников рынка в достаточном уровне возврата инвестиций и почти полное отсутствие стандартов. В этом смысле большую роль может сыграть государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», в рамках которой предполагается разработка стандартов и развитие нормативно-правового регулирования, а также необходимой инфраструктуры.

С точки зрения секторальной структуры экономики, более 60% рынка IoT, по версии IDC основанной на данных за 2015 г., приходится на промышленный интернет вещей, а самый маленький сегмент – это потребительский рынок (см. Рис. 45). По данным за 2016 г. эти два сегмента показали стабильную динамику развития благодаря инвестициям в умные города и распространению среди населения решений категории «безопасность жилья». Аналитики J&P подчеркивают, что спрос на этом рынке в основном формируется крупными проектами государственных организаций и корпораций [162].

Рис. 45 – Структура российского рынка IoT по секторам, 2015 г.
Источник: Индустриальный интернет вещей. Перспективы российского рынка / IDC, 2016. – 15 с. [185].

В отраслевом разрезе, по данным IDC за 2016 г., половина рынка IoT приходилась на производство, транспорт, а также объединенный сегмент «телекоммуникации и энергетика». Для производства основным сценарием было управление ресурсами, для транспорта — управлению транспортными средствами, мониторинг транспорта. Также стоит выделить такие отрасли, как розничная торговля и сельское хозяйство, которые в 2016 г. активно использовали решения IoT, но в денежном выражении объем этих сегментов рынка был незначительным [162]. Важное место на рынке занимает государственный сектор, что в первую очередь связано с инвестициями в умные города.

AC&M-Consulting также оценивал отраслевую структуру российского рынка, но по его физическому объему – количеству модулей для соединения автоматических устройств (M2M-модулей). В соответствии с Рис. 46 наибольшую долю рынка в 2017 г. занимал транспорт.

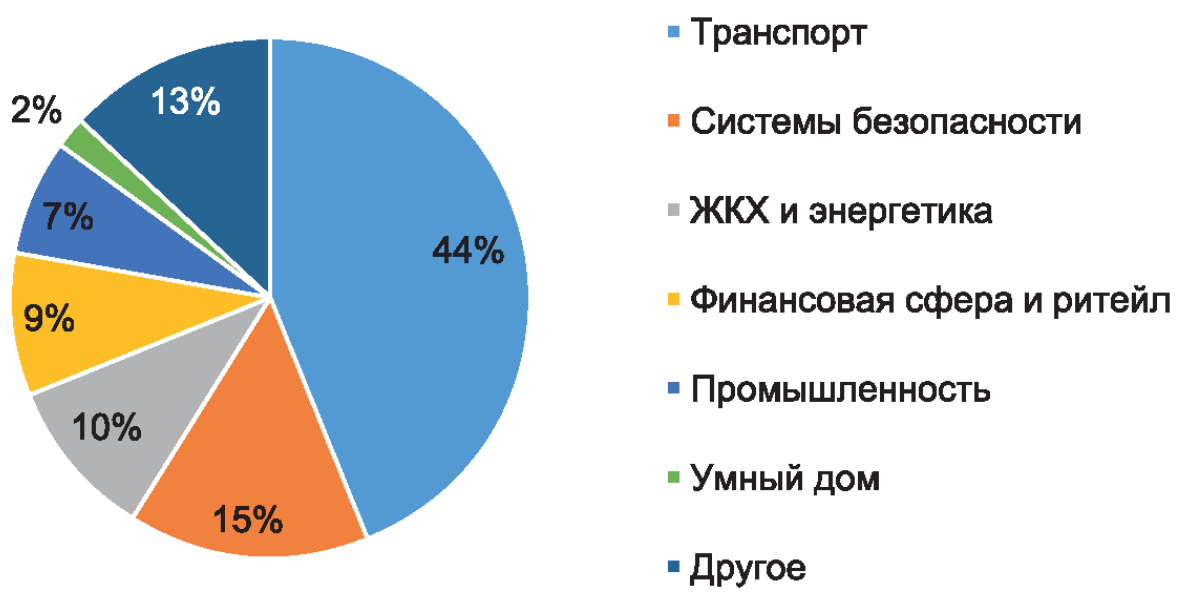



Рис. 46 – Структура российского рынка IoT по отраслям в 2017 г.
Источник: Обзор рынка IoT в России / AC&M- -Consulting, 2017. – 13 с. [186].

Компании Orange Business Services и iKS-Consulting, которые оценивали размеры бизнес-сектора IoT, считают крупнейшим рынком транспортную отрасль (16%), умные здания (4%), промышленность (2,5%), сельское хозяйство (2%), розничную торговлю (1,6%). Наименьшие расходы приходятся на финансовую сферу (1%). Самые высокие темпы роста ожидаются в сегменте розничной торговли. Драйверами этого рынка станут обширное внедрение CRM /SCM-систем, а также высокая конкуренция [184].

В технологической структуре преобладают инвестиции в услуги и оборудование: по данным IDC в 2016 г. их доля составила более 60%. Одним из возможных объяснений столь значительной роли этих сегментов является проведение собственных разработок при создании решений в области интернета вещей. Однако наиболее перспективным, по мнению аналитиков IDC, будет сегмент программного обеспечения, чьи среднегодовые темпы прироста в 2017–2021 гг. превысят средние по рынку и составят 24%. Такой рост должен быть поддержан более активным использованием коммерческих платформ IoT [185]. В J&P несколько иначе оценивают структуру рынка: по их данным наибольший объем приходится на сегмент «связь» (более 50% в 2016 г.). При этом в период до 2022 г. рост этого сегмента рынка в денежном

выражении будет практически нулевым. Причина столь важной роли «связи» на текущем рынке обусловлена невысокими темпами прироста количества подключенных «вещей» и низким уровнем добавленной стоимости IoT/M2M-решений на базе сервисов и облачных платформ из-за их неразвитости. Иными словами, российский рынок, в отличие от мирового, характеризуется низким уровнем ценности, получаемой от обработки данных.

## Государственная политика в области продвижения интернета вещей в России

В России государственная политика по продвижению интернета вещей имеет относительно недолгую историю. Внимание к технологиям, важным для развития интернета вещей, усилилось в 2015 г. в связи с началом развертывания Национальной технологической инициативы (НТИ). В рамках НТИ были определены «сквозные технологии» — ключевые научно–технологические направления, которые оказывают определяющее влияние на то, чтобы Россия расширила свое присутствие на перспективных рынках. К числу таких «сквозных технологий», имеющих значение для развития интернета вещей, можно отнести «технологии беспроводной связи», «большие данные», «сенсорику», «новые производственные технологии». Примерно в тот же период времени по запросу Министерства промышленности и торговли РФ начал разрабатываться ряд «дорожных карт» по развитию интернета вещей.

В 2017 г. была утверждена «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы», в которой дано свое определение интернета вещей (интернет вещей - концепция вычислительной сети, соединяющей вещи (физические предметы), оснащенные встроенными информационными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой без участия человека), а направление «интернет вещей и индустриальный интернет» названо одним из ключевых для развития российских информационных и коммуникационных технологий [189]. В том

же году в целях реализации данной стратегии была принята государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», в которой также перечислены «сквозные технологии», одна из которых – «промышленный интернет вещей». Таким образом, государственное содействие развитию технологий интернета вещей имеет менее, чем пятилетнюю историю. Значительно раньше технологиями интернета вещей стали заниматься российские компании, однако их деятельность не поддерживалась в рамках какой-либо официальной государственной политики.

В рамках поддержки «сквозных технологий» НТИ были образованы 14 Центров компетенций НТИ. «Интернет Вещей», объединенный с технологиями беспроводной связи, стал темой деятельности одного из Центров (создан на базе Сколтеха) [190].

Таким образом, на текущий момент государственная поддержка технологий IoT только начинает развертываться. При этом на российском рынке есть ряд компаний, самостоятельно разрабатывающие уникальные решения в области IoT.

**Российские компании-разработчики IoT решений**

Представленность разных технологий интернета вещей на российском рынке небольшая, конкурентоспособных на мировом рынке компаний-производителей уникальных решений немного. В качестве примеров можно привести следующие [83]:

- Компания Вавиот – производитель беспроводных систем для учета в сферах ЖКХ, сельском хозяйстве, городской инфраструктуре. Первыми вышла на рынок с решением на базе LPWAN, разработав протокол с низким энергопотреблением. Может работать на приборах, не подключенных к внешним источникам;
- Концерн Goodwin – беспроводные телекоммуникации для корпоративных и индивидуальных пользователей. Компания создана

на базе НПО «Физика», где радиоинженерам удалось создать собственный протокол, благодаря которому IoT работает на подвижных объектах. Это уникальные для мирового рынка разработки;

- Компания Thingenix – занимается разработкой решений, позволяющих использовать технологии интернета вещей в производстве, ЖКХ, сельском хозяйстве и многих других отраслях. Есть опыт как в разработке устройств и программного обеспечения, так и в области построения и эксплуатации сетей, в том числе национального масштаба. Компания сделала прибор – аналог устройства, разработанного НПО «Тайфун», но его стоимость в 10 раз ниже;
- Компания «Вега Абсолют» предлагает готовые решения на базе технологии LoRaWAN, включающее в себя оконечные устройства, базовые станции, а также серверное и клиентское программное обеспечение. В основе принципа передачи данных по технологии LoRaWAN на физическом уровне лежит известное свойство радиосистем – увеличение дальности связи при уменьшении скорости передачи, при этом каждое устройство взаимодействует с базовой станцией напрямую, а энергопотребление низкое. Устойчивая связь обеспечивается на расстоянии до 5 км в городских условиях и до 15 км в зоне прямой видимости.

Не во всех областях применение IoT целесообразно и оправдано. Пока слабо развиваются технологии IoT в промышленности и энергетики. В то же время есть большой потенциал развития IoT на транспорте, в логистике, сельском хозяйстве, для умного города, а также при утилизации отходов.

### 4.3 Российский рынок технологий связи на транспорте

Стандарты обеспечения связи «подключенных» автомобилей пока не нашли должно распространения в России. Известно о создании пилотной зоны тестирования технологий V2X на полигоне ФГУП «НАМИ». Активное участие в создании необходимой инфраструктуры принимает НП «ГЛОНАСС» [191]. Более подробные сведения приведем в Главе 5.

### 4.4 Российский рынок технологий многопрофильных СИМ-карт

Существуют некоторые ограничения в части использования технологии многопрофильных СИМ-карт в России. Так, технология пока не может полноценно использоваться из-за действующего законодательства. По закону «О связи», СИМ-карта является уникальным идентификатором абонента, а подключение к оператору предполагает письменный договор с указанием паспортных данных. А необходимость заключения договора с операторами превращает функцию быстрой смены оператора в настройках устройства неэффективной [2].

Тем не менее, на российском рынке присутствуют компании, выступающие за снятие законодательных ограничений. Среди них Tele2 и Ростелеком, которые завершили тестирование и готовы внедрить технологию eSIM. Операторы могут существенно снизить расходы на распространение и активацию SIM-карт, а также увеличить доходы от роуминга. Кроме того, eSIM предлагает огромные преимущества для потребителей и корпоративных клиентов, позволяя легко выбирать, активировать, подключать и управлять подключениями на своих устройствах. При этом операторы "большой тройки" – МТС, МегаФон и ВымпелКом – выступают против eSIM, объясняя данную точку зрения, во-первых, тем, что возможность абонента в любой момент поменять поставщика услуг связи приведет к обострению конкуренции и ценовым войнам. Во-вторых,

технология eSIM в текущей конфигурации может угрожать безопасности тайны связи для российских абонентов.

В 2020 г. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций (Минкомсвязи) готовит поправки в действующее законодательство для внедрения технологии виртуальных SIM-карт (eSIM) по итогам обсуждения с операторами связи [180].

**ВЫВОДЫ:**

1. На сегодняшний день Россия является относительно зрелым рынком мобильной сотовой связи с показателем проникновения для уникальных абонентов – 89% на конец 2018 г. Эта цифра останется практически неизменной до 2025г. Российские пользователи мобильной связи уже потребляют значительные объемы мобильного трафика, которые будут продолжать расти по мере роста популярности смартфонов. Благодаря значительным инвестициям операторов в сети LTE в стране наблюдается быстрый переход на технологии 4G. В течение следующих пяти лет доля 4G-подключений увеличится более чем вдвое и достигнет двух третей от общего количества к 2023 г.
2. Стабилизация конкурентной обстановки и продолжающийся быстрый рост объемов трафика способствуют увеличению доходов на российском рынке в краткосрочной перспективе, но среднесрочные прогнозы остаются сдержанными. Средний доход на пользователя в месяц остается низким по меркам развитых рынков, подчеркивая необходимость для операторов в развитии новых источников дохода. 5G принесет новые возможности как на потребительском, так и на корпоративном рынках, а также снизит эксплуатационные расходы. Оба этих фактора потенциально являются критически важными для российских операторов, которые стремятся улучшить свои финансовые показатели.
3. Хотя Россия не входит в число стран первой волны запусков 5G, телекоммуникационные компании и имеющие отношение к этой сфере

политики все больше осознают важность данной технологии как для отрасли связи, так и для экономики в целом. По прогнозам, первые коммерческие сети 5G в России появятся в 2020 г., причем к 2025 г. число соединений 5G достигнет 46 млн., что будет составлять 20% от общего числа подключений. Согласно этому прогнозу, показатели роста в России превысят среднемировой уровень, но при этом будут ниже уровня ведущих рынков 5G — США, Южной Кореи и Китая.

4. Технологии 5G рассматриваются в России как необходимое условие для создания новой, более конкурентоспособной национальной экономики. Регулирующие органы должны рассматривать 5G не только как новое техническое достижение в области телекоммуникаций, но и как одно из условий для формирования цифровой экономики и стимулирования трансформации различных отраслей. Учитывая это, необходимо перейти от регулирования отрасли мобильной связи к стимулированию ее развития. Наличие комплексного государственного плана развития сетей связи 5G является ключевым фактором успеха запуска и эксплуатации сетей пятого поколения.
5. Оценки российского рынка интернета вещей (IoT) неоднозначны. Разные анализические компании дают разные оценки рынка. Например, компания J&P оценила объем рынка IoT в 1 млрд. долл. По данным компании IDC, объем российского рынка составил 4 млрд. долл. в 2018 г. Основными драйверами российского рынка IoT являются цифровая трансформация компаний, создание экосистемы и рост взаимодействия поставщиков решений, а также государственная поддержка. Положительное влияние на динамику рынка оказали первые успешные проекты, посвященные интеграции решений интернета вещей с существующими ИТ-системами.
6. Нет единого мнения экспертов по поводу структуры российского рынка интернета вещей. Например, оценки доли промышленного интернета вещей варьируются от 20% до 95%. В отраслевом разрезе, по данным IDC за 2016 г., половина рынка IoT приходилась на производство, транспорт, а

также объединенный сегмент «телекоммуникации и энергетика». Для производства основным сценарием было управление ресурсами, для транспорта — управление транспортными средствами, мониторинг.

7. Начинает развертываться государственная поддержка технологий IoT. Утверждена «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы», принята государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», образуются центры компетенций НТИ, разрабатываются дорожные карты интернета вещей. При этом на российском рынке есть ряд компаний, самостоятельно разрабатывающие уникальные решения в области IoT. К ведущим разработчикам относятся: Вавиот, Goodwin, Thingenix и «Вега Абсолют».
8. Из-за ограничений действующего законодательства использование многопрофильных СИМ-карт в РФ является не актуальным на текущий момент. Однако при внесении изменений в законодательство РФ, технология eSIM позволит операторам существенно снизить расходы на распространение и активацию SIM-карт, а также увеличить доходы от роуминга. Кроме того, eSIM предлагает значительные преимущества для потребителей и корпоративных клиентов, позволяя легко выбирать, активировать, подключать и управлять подключениями на устройствах.
9. В России идет становление стандартов в области V2X. Наиболее подходящими стандарами являются ITS-G5 или C-V2X. На полигоне ФГУП «НАМИ» проходят испытания соответствующих технологий. Для реализации создания пилотной зоны организован проектный консорциум компаний, заинтересованных в тестировании технологий V2X.

# ГЛАВА 5. Оценка влияния рынка беспроводных технологий на развитие российского и международного рынка «Автонет»

Важнейшим трендом технологического развития в отрасли автомобилестроения является рост уровня «подключаемости» транспортных средств – в автоиндустрии эта концепция приобрела название «Connected Car» («подключенный автомобиль»). Ожидается, что к 2025 г. количество подключенных к сети транспортных средств на дорогах Европы, США и Китая превысит 470 млн. С каждым годом все больше автомобилей оснащается беспроводными средствами связи, позволяющими передавать информацию о дорожной обстановке другим автомобилям и объектам инфраструктуры. Воплощение этой концепции в жизнь в виде достаточно разветвленной и плотной информационной сети, позволит значительно повысить общий уровень безопасности на дорогах, усовершенствует существующие телематические устройства и позволит транспортным средствам передавать телеметрические данные и обмениваться информацией между собой, поддерживать дистанционную связь с системами автоматического оповещения о ДТП, подключаться к единой информационно-развлекательной системе, а также получать необходимую информацию о дорожной ситуации и свободных парковочных местах.

Главным и необходимым элементом Connected Car является стабильный канал связи транспортного средства с другими объектами. В конце 1990-х автопроизводители были вынуждены разрабатывать собственные системы телематики, т.к. считали сотовые сети недостаточно надежными для использования в серийных автомобилях. В настоящее время ситуация значительно изменилась и, начиная со второй половины 2000-х, автоконцерны активно встраивают в свои автомобили телематические системы, использующие исключительно каналы передачи данных сотовых операторов. В последние годы этот процесс ускорился за счет развития технологий 5G.

В июне 2016 года ABI Research опубликовала прогноз, согласно которому к 2025 году около 67 млн. автомобилей будут использовать сервисы 5G [37]. Три миллиона из них – полностью автономные транспортные средства. Технология 5G, благодаря более быстрому отклику, станет предпочтительной для широкополосного потокового мультимедиа, отправки диагностической информации сервисным центрам и использования в системах V2X.

Чтобы технология V2X стала реальностью, две области – автомобильная и телекоммуникационная, должны расширить зону охвата 5G-сигнала и обеспечить уверенный приём. ABI Research ожидает, что это станет вполне реальным к 2025 году. 5G позволит мобильным операторам внедрить больше услуг с добавленной стоимостью для автомобильной экосистемы. Аналитики ABI Research ожидают появления новых бизнес-моделей и новых возможностей для автомобильной отрасли благодаря низкой задержке при установке соединения – до 1 мс.

Одной из главных проблем при внедрении V2X называют высокую стоимость. По аналитическим данным Ford, затраты на развертывание инфраструктуры для работы технологии на участке до 150 км составляют около $1 млн., причем такие расходы потребуются в том случае, если вдоль дороги уже протянут волоконно-оптический кабель и необходимо лишь заменить оборудование. В противном случае затраты будут гораздо выше, считает автопроизводитель.

Другая проблема, которую предстоит решить сторонникам коммуникаций V2X, заключается в том, как обрабатывать и интерпретировать гигантские потоки данных, объемы которых будут только расти по мере распространения технологии.

В настоящее время технологии V2X имеет поддержку мобильных операторов, ведущих производителей мобильного оборудования и многих автопроизводителей, в том числе Audi, BMW, Daimler, Ford, Lexus, Nissan, PSA, SAIC и Tesla. Например, компания Ford взяла на себя обязательство

устанавливать оборудование C-V2X на всех новых моделях автомобилей в США, начиная с 2022 года, «в ожидании технологически нейтральной нормативной среды». В 2021 году она также планирует начать развертывание технологии C-V2X на автомобилях Ford в Китае [36].

В России концепция Connected Car только начинает формироваться. В настоящее время активно развивается система «ЭРА-ГЛОНАСС», предназначенная для экстренного реагирования при авариях. Она же будет положена в основу интеллектуальной транспортной системы России в целом. Кроме того, на ее базе реализован коммерческий сервис «ЭРА Транзит», применяющийся в логистике. Он призван контролировать сохранность груза и обеспечивать передвижение транспорта по верному маршруту. В планах специалистов внедрить сервис «ЭРА Помощь на дороге», который будет оказывать техническую поддержку автомобилистам.

Все крупные операторы сотовой связи тестируют свои решения в виде бортовых телематических блоков с установленными многопрофильными СИМ-картами для подключения к интернет-сервисам и системе «ЭРА-ГЛОНАСС». При этом, профиль «ЭРА-ГЛОНАСС» на SIM-карте обслуживает только «тревожные» случаи, а профили сотовых операторов поддерживают спектр коммерческих телематических услуг.

По причине того, что технологии V2X только выходят на мировой рынок и технологические стандарты только формируются, в особенности в части технологии Cellular-V2x, научно-технический задел в России только предстоит сформировать.

Так, в настоящее время в России создается пилотная зона, предназначенная для проведения испытаний автомобильных сервисов, использующих технологии связи IEEE 802.11p (DSRC) и Cellular-V2x Rel-14/15/16 (C-V2X) [36]. Пилотная зона создается для экспериментальной проверки и подготовки к внедрению сервисов, предназначенных для повышения безопасности дорожного движения, повышения эффективности управления дорожным движением и повышения эффективности перевозок.

Для реализации создания пилотной зоны организован проектный консорциум компаний, заинтересованных в тестировании технологий V2X, анализе результатов опытной эксплуатации созданных технологических решений V2X, оценке эффективности внедрения автомобильных сервисов на базе технологий DSRC и V2X, а также участии в разработке рекомендаций по коммерциализации созданных решений.

Многопрофильные СИМ-карты представляют собой еще одно из направлений развития телематических систем транспортных средств и позволяют обеспечить бесперебойный доступ к большому количеству разнообразных интернет-сервисов, связь с экстренными службами, страховой телематике, поисковым и охранным сервисам.

Основным доступным решением технологии многопрофильных СИМ-карт на настоящее время является платформа ComfortWay RSP Platform, которая объединяет операторов мобильной связи, пользователей и партнерские интернет сервисы и дает возможность пользователю в один клик сменить оператора. В платформе реализован открытый стандарт загрузки профиля оператора в разработанную компанией СИМ-карту «по воздуху» (Remote СИМ provisioning).

Примеры использования многопрофильных СИМ-карт есть и в России. Многопрофильные SIM-карты используются в устройствах вызова экстренных оперативных служб (УВЭОС) ГАИС "ЭРА-ГЛОНАСС". Все крупные операторы сотовой связи тестируют свои решения в виде бортовых телематических блоков с установленными многопрофильными СИМ-картами для подключения к интернет-сервисам и системе «ЭРА-ГЛОНАСС». При этом, профиль «ЭРА-ГЛОНАСС» на SIM-карте обслуживает только «тревожные» случаи, а профили сотовых операторов поддерживают спектр коммерческих телематических услуг.

**ВЫВОДЫ:**

4. Важнейшим трендом развития рынка «Автонет» является рост уровня «подключаемости» транспортных средств. Ожидается, что к 2025 г. количество подключенных к сети транспортных средств на дорогах Европы, США и Китая превысит 470 млн.
5. С каждым годом все больше автомобилей оснащается беспроводными средствами связи, позволяющими передавать информацию о дорожной обстановке другим автомобилям и объектам инфраструктуры. Эксперты сходятся во мнении, что через пять лет около 67 млн. автомобилей будут использовать сервисы 5G.
6. Многопрофильные СИМ-карты применяются в качестве инструмента для доступа к большому количеству разнообразных интернет-сервисов, связи с экстренными службами, страховой телематике, поисковым и охранным сервисам на транспортных средствах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. ФЗ «О навигационной деятельности» / Федеральный закон от 14 февраля 2009 г. N 22-ФЗ. справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации «Гарант».
2. ФЗ «О связи» / Федеральный закон от 7 июля 2003 г. N 126-ФЗ. справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации «Гарант».
3. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 53801-2010 «Связь федеральная. Термины и определения» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 июня 2010 г. N 126-ст) / Справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации «Гарант».
4. ГОСТ Р 54620-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 декабря 2011 г. № 755-ст) / М.: Стандартинформ, 2013. – 107с.
5. ГОСТ Р 55524-2013 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы навигационно-информационные. Термины и определения (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 августа 2013 г. N 588-ст) / М.: Стандартинформ, 2014. – 8с.
6. ГОСТ 33470-2015 Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Методы испытаний модулей беспроводной связи устройства / системы вызова экстренных оперативных служб (введен в действие Приказом Росстандарта от 21.12.2016 N 2059-ст) / М.: Стандартинформ, 2017. – 80 с.
7. План мероприятий («дорожная карта») Национальной технологической инициативы «Автонет» (приложение № 2) / Протокол заседания

президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России от 24.04.2018 № 1. – 242 с.

8. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи / Москва: Техносфера, 2006. – 288 с.
9. Оссейран А. Технологии мобильной связи 5G: анализ и перспективы / Первая миля. – 2013. №5. – С.16-21.
10. Можайков Д., Дронский С. Сравнительный анализ технологий мобильной связи / Беспроводные технологии. – 2016. – №2. – С.16-21.
11. Княгинин В.Н. Цифровая трансформация компаний / Центр стратегических разработок – Северо-Запад. – 2018. – 17 с.
12. Бутенко В., Веерпалу В., Девяткин Е., Федоров Ф. Сети 5G/IMT-2020 & IoT – основа цифровой трансформации / Электросвязь. – 2018. – №12. – С. 4-9.
13. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов / – Спб.: БХВ-Петербург, 2014. – 400 с.
14. Вишневский В., Портной С., Шахнович И. Энциклопедия WiMAX путь к 4G. / – Москва: Техносфера, 2009. – 472 с.
15. Токанов М.М. Беспроводные технологии / Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации, 2019. – С.78-80.
16. Быховский М.А. Круги памяти. Очерки истории развития радиосвязи и вещания в XX столетии / М: Мобильные коммуникации, 2001. – 224 с.
17. Миллер Л., Политова Л. Политехнический русский / Спб.:Питер, 2013. – 224 с.
18. The Mobile Economy Russia & CIS 2018 / GSMA. – 2018. – 40 p.
19. Вишневский В.М. Беспроводные сети широкополосного доступа к ресурсам Интернета / Электросвязь. –2000. – № 10. – С. 9-13.
20. Saunders S., Heywood P., Doman A., Bruno L., Allen L. Wireless IP: Ready or Not, Here it Comes / Data Communications. – 1999. – №. 9. – P. 4-68.
21. МСЭ-Т Стандартизация / Женева, 2014. – 32 с.

22. ГОСТ Р 56294-2014 Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем (введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2014 г. N 1966-ст) / М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.
23. Евстигнеев И.А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России / – М.: Изд-во «Перо», 2015. – 164 с.
24. Рогальская К.О. Цифровой транспорт и логистика – важнейшее направление программы «Цифровая экономика Российской Федерации» / Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Революция в управлении: новая цифровая экономика или новый мир машин: материалы II Международного научного форума, 2018. – С. 273-278.
25. The Official Website of 3GPP / Режим доступа: https://www.3gpp.org (дата обращения: 10.01.2020).
26. Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с анг. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.
27. The Official Website of ITU / Режим доступа: https://www.itu.int (дата обращения: 10.01.2020).
28. Report ITU-R M.2370-0. IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030 / ITU – July, 2015. – 51 p.
29. Recommendation ITU-R M.2083-0. IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond / ITU. – September, 2015. – 21 p.
30. Тихвинский В.О., Бочечка Г.С. Концептуальные аспекты создания 5G / Электросвязь. – 2013. – № 10. – С. 29-33.
31. Тихвинский В.О. Стандартизация мобильной связи 5G как процесс создания инфраструктурной основы цифровой экономики / Электросвязь. – 2018. – № 11. – С. 24-30.

32. FG IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis (TD 208 (PLEN/13)) / ITU, 2015. – 172 p.
33. Тихвинский В.О., Минов А.В., Бочечка Г.С., Бабин А.И. Сети 5G: международная стандартизация / Connect. – 2017. – №1-2. – С.52-58.
34. Recommendation ITU-T Y.3100. Terms and definitions for IMT-2020 network/ ITU. – April, 2017. – 14 p.
35. Recommendation ITU-T Y.3101. Requirements of the IMT-2020 network / ITU. – January, 2018. – 26 p.
36. Recommendation ITU-T Y.3102. Framework of the IMT-2020 network / ITU. – May, 2018. – 26 p.
37. Recommendation ITU-T Y.3110. IMT-2020 network management and orchestration requirements / ITU. – September, 2017. – 14 p.
38. Recommendation ITU-T Y.3111. IMT-2020 network management and orchestration framework / ITU. – September, 2017. – 46 p.
39. Recommendation ITU-T Y.3112. Framework for the support of network slicing in the IMT-2020 network / ITU. – December, 2018. – 20 p.
40. Recommendation ITU-T Y.3150. High-level technical characteristics of network softwarization for IMT-2020 / ITU. – January, 2018. – 28 p.
41. Draft Technical Report: Report on application of network softwarization to IMT-2020 (IMT-O-041) / ITU. – December, 2016. – 148 p.
42. Recommendation Y.IMT2020-arch. Architecture of IMT-2020 network. / ITU. – Режим доступа: https://www.itu.int/md/T17-SG13-170206-TD-WP1-0017/en (дата обращения: 11.01.2020).
43. Draft Recommendation: Framework of IMT-2020 network architecture (IMT-O-043) / ITU. – December, 2016. – 31 p.
44. Draft Recommendation: Requirements of IMT-2020 Fixed and Mobile Convergence (IMT-O-044) / ITU. – December, 2016. – 8 p.
45. Draft Technical Report: FMC architecture based on Unified Network Integrated Cloud / ITU. – December, 2016. – 18 p.

46. Draft Technical Report: Application of information centric networking to IMT-2020 (IMT-O-048) / ITU. – December, 2016. – 38 p.
47. Recommendation ITU-T Y.NSOM. Mobile network slicing orchestration and management / ITU. – Режим доступа: https://www.itu.int/md/T17-SG13-190628-TD-WP1-0383 (дата обращения: 11.01.2020).
48. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Айтмагамбетов А.З. Сети мобильной связи 5G: Перспективы создания и развития / Алматы, Казахстан: Из-во "Ак-Шагыл", 2019. – 348 с.
49. Тихвинский В.О. Технологии 5G – базис мобильной инфраструктуры цифровой экономики / Электросвязь. – 2018. – № 3. – С. 48-55.
50. Тихвинский В.О. Текущее состояние и успехи в стандартизации оборудования сетей 5G/IMT-2020 в различных международных организациях связи/альянсах/консорциумах / XIX Международный форум: регулирование в сфере инфокоммуникационных технологий. СПЕКТР-2019. – 2019. – 17 с.
51. Report ITU-R M.2320-0. Future technology trends of terrestrial IMT systems / ITU. – November, 2014. – 32 p.
52. Report ITU-R M.2376-0. Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz / ITU. – November, 2015. – 134 p.
53. Report ITU-R F.2328-0. Sharing and compatibility between international mobile telecommunication systems and fixed service systems in the 3 400-4 200 MHz frequency range / ITU. – November, 2014 .– 17 p.
54. Report ITU-R M.2410-0. Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s) / ITU. – November, 2017. – 11 p.
55. Report ITU-R M.2412-0. Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020 / ITU. – October, 2017. – 144 p.
56. Тихвинский В.О. Сети 5G и IoT – инновационная среда для цифровой экономики России / Электросвязь. – 2017. – № 8. – С. 18-24.
57. Dino Flore D. LTE evolution and 5G / 3GPP, 2017. – 16 p.

58. 3GPP TS 38.201. NR; Physical Layer - General Description (V15.0.0) / 3GPP. – December, 2017. – 12 p.
59. 3GPP TS 38.202. NR; Services provided by the physical layer (V15.5.0) / 3GPP.– June, 2019. – 14 p.
60. 3GPP TS 38 104. NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (V16.1.0) / 3GPP. – September, 2019. – 229 p.
61. 3GPP TS 38 101-1. NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception (V16.1.0) / 3GPP. – September, 2019. – 273 p.
62. 3GPP TR 38 817-1. NR; General aspects for UE RF for NR (V16.1.0) / 3GPP. – October, 2019. – 94 p.
63. 3GPP TR 38 817-2. NR; General aspects for BS RF for NR (V15.5.0) / 3GPP. – October, 2019. – 144 p.
64. 3GPP TR 38 813. NR; New frequency range for NR (3.3—4.2 GHz) (V15.0.0)/ 3GPP.– March, 2018. – 30 p.
65. 3GPP TR 38 901. NR; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (V16.0.0) / 3GPP. – October, 2019. – 99 p.
66. 3GPP TS 38.300. NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (V16.0) / 3GPP. – December, 2019. – 101 p.
67. 3GPP TS 38.401. NG-RAN; Architecture description (V16.0.0) / 3GPP. – January, 2020. – 49 p.
68. 3GPP TS 23.501. System Architecture for the 5G System; Stage 2 (V16.3.0) / 3GPP.– December, 2019. – 409 p.
69. 3GPP TR 23.799. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces (V14.0.0) / 3GPP.– December, 2016. – 520 p.
70. 3GPP TR 29.891. 5G System - Phase 1; CT WG4 Aspects (V15.0.0) / 3GPP.– December, 2017. – 146 p.
71. 3GPP TR 38.801. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces (V14.0.0) / 3GPP.– March, 2017. – 91 p.
72. 3GPP TS 38.470. NG-RAN; F1 general aspects and principles (V16.0.0) / 3GPP.– January, 2020. – 13 p.

73. 3GPP TS 38.420. NG-RAN; Xn general aspects and principles (V15.2.0) / 3GPP.– December, 2018. – 15 p.
74. 3GPP TS 22.861. Massive Internet of Things (V14.1.0) / 3GPP.– September, 2016. – 28 p.
75. 3GPP TS 22.862. Feasibility study on new services and markets technology enablers for critical communications; Stage 1 (V14.1.0) / 3GPP.– September, 2016. – 31 p.
76. 3GPP TS 22.863. Feasibility study on new services and markets technology enablers for enhanced mobile broadband; Stage 1 (V14.1.0) / 3GPP.– September, 2016. – 21 p.
77. 3GPP TS 22.864. Feasibility study on new services and markets technology enablers for network operation; Stage 1 (V15.0.0) / 3GPP.– September, 2016. – 35 p.
78. 3GPP TS 22.886. Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services (V16.2.0) / 3GPP.– December, 2018. – 76 p.
79. The Official Website of oneM2M / Режим доступа: http://www.onem2m.org (дата обращения: 12.01.2020).
80. Тихвинский В.О., Коваль В.А, Бочечка Г.С Перспективы стандартизации Интернета вещей в международных организациях связи / Первая миля. –2017. –№ 2 (63). – С. 26-32.
81. Тихвинский В.О. Партнерский проект oneM2M: новая парадигма развития телекоммуникаций / Электросвязь. – 2012. – № 11. – С. 18-20.
82. Recommendation ITU-T Y.2060. Overview of the Internet of thing / ITU. –June, 2012. – 22 p.
83. Дежина И.Г. Перспективные рынки и технологии интернета вещей: публичный аналитический доклад / Сколтех. М.:ООО«Лайм», 2019. 272 с.
84. Тихвинский В.О., Коваль В.А., Бочечка Г.С. Интернет вещей: международная стандартизация / Электросвязь. – 2017. – № 2. – С. 18-23.
85. The Official Website of ISO/IEC JTC1/SC41 / Режим доступа: https://jtc1info.org (дата обращения: 12.01.2020).

86. International Standard ISO/IEC 20924 Information technology – Internet of Things (IoT) – Definition and vocabulary / ISO. – December, 2018. – 7 p.
87. International Standard ISO/IEC 21823-1 Internet of things (IoT) – Interoperability for internet of things systems – Part 1: Framework / ISO. – February, 2019. – 15 p.
88. International Standard ISO/IEC 30141 Internet of Things (loT) – Reference Architecture / ISO. – August, 2018. – 77 p.
89. Recommendation ITU-T Y.4702. Common requirements and capabilities of device management in the Internet of things / ITU. – March, 2016. – 22 p.
90. Recommendation ITU-T Y.4553. Requirements of smartphone as sink node for IoT applications and services / ITU. – March, 2016. – 22 p.
91. Recommendation ITU-T Y.4113. Requirements of the network for the Internet of things / ITU. – September, 2016. – 28 p.
92. Recommendation ITU-T Y.4451 Framework of constrained device networking in the IoT environments / ITU. – September, 2016. – 24 p.
93. Recommendation ITU-T Y.4452. Functional framework of web of objects / ITU. – September, 2016. – 18 p.
94. Recommendation ITU-T Y.4453. Adaptive software framework for Internet of things devices / ITU. – September, 2016. – 28 p.
95. Recommendation ITU-T Y.4454. Platform Interoperability for Smart Cities / ITU. – Режим доступа: https://www.itu.int/md/T17-SG20-C-0082/en (дата обращения: 12.01.2020).
96. Recommendations ITU-T Y-series – Supplement 42. Use cases of user-centric work space service / ITU. – July, 2016. – 18 p.
97. Recommendation ITU-T E.164. The international public telecommunication numbering plan / ITU. – November, 2010. – 32 p.
98. 3GPP TR 36.888. Study on provision of low-cost Machine-Type Communications (MTC) User Equipments (UEs) based on LTE (V12.0.0) / 3GPP. – June, 2013. – 55 p.

99. The Official Website of TAICS / Режим доступа: https://www.taics.org.tw (дата обращения: 12.01.2020).
100. The Official Website of ESTI / Режим доступа: https://www.etsi.org (дата обращения: 12.01.2020).
101. Technical Report ETSI TR 103 375. SmartM2M; IoT Standards landscape and future evolutions (V1.1.1) / ESTI. – October, 2016. – 87 p.
102. Technical Report ETSI TR 103 376. SmartM2M; IoT LSP use cases and standards gaps (V1.1.1) / ESTI. – October, 2016. – 72 p.
103. Technical Report ETSI TS 103 268-1. SmartM2M; Smart Appliances Ontology and Communication Framework Testing; Part 1: Testing methodology (V1.1.1) / ESTI. – April, 2017. – 25 p.
104. Technical Report ETSI TS 103 410-1. SmartM2M; Smart Appliances Extension to SAREF; Part 1: Energy Domain (V1.1.1) / ESTI. – January, 2017. – 27 p.
105. ГОСТ Р Р 1.1 2013 Технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности (введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 июня 2013 г. № 165-ст) / М.: Стандартинформ, 2014. – 23 с.
106. Официальный сайт ТК194 "Кибер-физические системы" / Режим доступа: http://tc194.ru (дата обращения: 12.01.2020).
107. ISO/TC 204 Intelligent transport systems / Режим доступа: www.iso.org/committee/54706.html (дата обращения: 12.01.2020).
108. Ярцев С.В. Исследование и разработка моделей и методов распределения широковещательного трафика в сетях VANET/Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2018. – 203 с.
109. Dimitrakopoulos G. Current Technologies in Vehicular Communication / Springer International Publishing AG 2017, – 121 p.
110. Directive 2010/40/EU. Framework for the Deployment of Intelligent Transport Systems / European Commission. – September, 2010. – 25 p.

111. COM/2016/0766 A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility / European Commission. – November, 2016. – 12 p.
112. Directive 2014/53/EU of the European Parliament and of the Council / April, 2014. – 45 p.
113. Regulation 2016/679/EU of the European Parliament and of the Council / April, 2016 – 88 p.
114. Security Policy & Governance Framework for Deployment and Operation of European Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS). Release 1 / European Commission. – December, 2017. – 36 p.
115. Certificate Policy for Deployment and Operation of European Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS). Release 1 / European Commission. – July, 2017. – 81 p.
116. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council (Delegated Act) / March, 2019 – 256 p.
117. The Official Website of CEN / Режим доступа: http://www.itsstandards.eu/wgs (дата обращения: 12.01.2020).
118. Mandate M/453 EN / European Commission. – October, 2009. – 7 p.
119. Anand P. Intelligent Vehicular Networks and Communications Fundamentals, Architectures and Solutions / Todd Green, 2017. – 227 p.
120. ETSI EN 302 637-2. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service (V1.3.1) / ETSI.September, 2014. – 44 p.
121. ETSI EN 302 637-3. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service (V1.2.1) / ETSI. –September, 2014. – 73 p.
122. Страны ЕС проголосовали против стандарта подключенных автомобилей на основе Wi-Fi / Вести Экономика. – 04.07.2019. – Режим

доступа: https://www.vestifinance.ru/articles/121688 (дата обращения: 12.01.2020).

123. Шарп М. Деятельность ЕСТИ в области интеллектуальных транспортных систем (автодорожные и железнодорожные) / Санкт-Петербург, 2018. – 13 с.

124. Официальный сайт Habr / Режим доступа: https://habr.com (16.12.2019).

125. 802.11p-2010 – IEEE Standard for Information technology – 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 Environment / Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/802_11p-2010.html (дата обращения: 13.01.2020).

126. IEEE 1609.0-2013 – IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Architecture / Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/document/6755433 (дата обращения: 13.01.2020).

127. IEEE 1609.1-2006 – Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Resource Manager / Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/1609_1-2006.html (дата обращения: 13.01.2020).

128. IEEE 1609.2a-2017 – IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments – Security Services for Applications and Management Messages - Amendment 1 / Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/1609_2a-2017.html (дата обращения: 13.01.2020).

129. IEEE 1609.3-2016 – IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Networking Services / Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/1609_3-2016.html (дата обращения: 13.01.2020).

130. IEEE 1609.4-2016 – IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Multi-Channel Operation / Режим доступа:

https://standards.ieee.org/standard/1609_4-2016.html (дата обращения: 13.01.2020).

131. IEEE 1609.11-2010 – IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS) / Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/1609_11-2010.html (дата обращения: 13.01.2020).

132. IEEE 1609.12-2016 – IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Identifier Allocations / Режим доступа: https://standards.ieee.org/standard/1609_12-2016.html (дата обращения: 13.01.2020).

133. SAE J2365. Calculation and Measurement of the Time to Complete In-Vehicle Navigation and Route Guidance Tasks / Режим доступа: https://www.sae.org/standards/content/j2365_201607 (дата обращения: 13.01.2020).

134. SAE J2678. Navigation and Route Guidance Function Accessibility While Driving Rationale / Режим доступа: https://www.sae.org/standards/content/j2678_201609 (дата обращения: 13.01.2020).

135. SAE J2945 Dedicated Short Range Communication (DSRC) Systems Engineering Process Guidance for SAE J2945/X Documents and Common Design Concepts / Режим доступа: https://www.sae.org/standards/content/j2945_201712 (дата обращения: 13.01.2020).

136. ARIB STD-T55. Electronic Toll Collection System / ARIB. –November, 1997. – 22 p.

137. ARIB STD-T75. Dedicated Short-Range Communication System / ARIB. – June, 2001. – 22 p.

138. ARIB STD-T88. DSRC Application Sub-Layer / ARIB. May, 2004. – 235 p.

139. ARIB STD-T110. DSRC Basic Application Interface / ARIB. – December, 2012. – 8 p.
140. Решение ГКРЧ при Мининформсвязи России от 07.05.2007 N 07-20-03-001 (ред. от 15.04.2019) "О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия" / база данных «Консультант». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=723811#015493457590315263 (дата обращения: 16.01.2020).
141. Решение ГКРЧ при Минкомсвязи России от 28.04.2008 N 08-24-01-001 "О внесении изменений в решение ГКРЧ от 07.05.2007 N 07-20-03-001 "О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия" / база данных «Консультант». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=539551#075619805280514 15 (дата обращения: 16.01.2020).
142. Приказ Минкомсвязи России от 14.09.2010 N 124 (ред. от 13.06.2018) "Об утверждении Правил применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц" (Зарегистрировано в Минюсте России 12.10.2010 N 18695) / база данных «Консультант». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_106503 (дата обращения: 16.01.2020).
143. Решение ГКРЧ при Минкомсвязи РФ от 10.03.2011 N 11-11-01-2 "О выделении полосы радиочастот 5855-5925 МГц для радиоэлектронных средств интеллектуальных систем на транспорте (ITS)" / база данных «Консультант». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=503646#087051913724486 51 (дата обращения: 16.01.2020).
144. Официальный сайт iTech / Режим доступа: https://itechinfo.ru (дата обращения: 15.01.2020).
145. Ericsson Mobility Report / Ericsson. – June, 2019. – 36 p.

146. The Official Website of Strategy Analytics / Режим доступа: https:// strategyanalytics.com (дата обращения 16.01.2020).
147. IoT trend watch 2018 / IHS Markit. – 2018. –27 p.
148. The Official Website of BCG / Режим доступа: https://www.bcg.com (дата обращения 16.01.2020).
149. The Official Website of IoT Analytics / Режим доступа: https://iot-analytics.com (дата обращения 16.01.2020).
150. Market Pulse Report, IoT / GrowthEnabler, 2017. – 19 p.
151. Гуро А. Технология сети V2X / V Международная конференция «Роль и место интеллектуальных транспортных систем в сети автомобильных дорог Российской Федерации. Современные тенденции развития», 2018. – 26 с.
152. The Official Website of Markets & Markets / Режим доступа: https://www.marketsandmarkets.com (дата обращения: 15.01.2020).
153. Global eSIM Market – Trends and Major Drivers / Режим доступа: https://whatphone.com.au/esim-plans/global-eSIM-market (дата обращения: 16.01.2020).
154. Digital Security Report / IHS Markit, 2017. – Vol. 3. – 4 p.
155. Н. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий / Экономика науки. – 2016. – №4. – Т.2. – С.244-260.
156. The Official Website of Crunchbase / Режим доступа: https://crunchbase.com (дата обращения: 09.12.2019).
157. The Official Website of AngelList / Режим доступа: https://angel.co (дата обращения: 09.12.2019).
158. Дорожная карта развития «Сквозной» цифровой технологии «технологии беспроводной связи» / Государственный фонд фондов «Институт развития Российской Федерации». – 2019. – 43 С.
159. Алиев Т.И., Муравьева-Витковская Л.А., Соснин В.В. Технологии беспроводных сетей: учебное пособие / – СПб: ИТМО, 2010. – 127 с.

160. Михайлов А. Практические аспекты интеграции GSM/GPRS-терминалов / Беспроводные технологии. – 2006. – №4. – С.47-50.
161. Редько А. Характеристики популярных на рынке GSM / GPRS устройств, для беспроводных индустриальных приложений M2M / Беспроводные технологии. – 2007. – №3. – С.8-9.
162. Российский рынок M2M/IoT (межмашинных коммуникаций и Интернета Вещей). Итоги 2018 г., прогноз до 2022 г. / J&P. – 2019. – Режим доступа: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rossiyskiy-rynok-m2miot-mejmashinnyh-kommunikatsiy-i-interneta-veschey-itogi-2018-g-prognoz-do-2022-g-20190515023757 (дата обращения: 06.12.2019).
163. Можайков Д., Дронский С. Сравнительный анализ технологий мобильной связи / Беспроводные технологии. – 2016. – №2. – С.16-21.
164. Mercer D, Kerr D. Strategy Analytics: Internet of Things Now Numbers 22 Billion Devices But Where Is The Revenue? / https://www.businesswire.com/news/home/20190516005700/en/Strategy-Analytics-Internet-Things-Numbers-22-Billion (дата обращения: 06.12.2019).
165. Официальный сайт информационного портала IoT / Режим доступа: https://iot.ru/ (16.12.2019).
166. Аникин А. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных / Беспроводные технологии. – 2011. – №4. – С.6-12.
167. Рудневский А. Перспективы технологий LTE для IoT / Беспроводные технологии. – 2017. – №3. – С.43-45.
168. Рахманов С. Особенности развития современных технологий беспроводного доступа Wi7Fi и WiMAX в России и во всем мире / – 2006. – С.33-41.
169. Колыбельников А. И. Обзор технологий беспроводных сетей / Труды МФТИ. – 2012. – Том 4, № 2.
170. Официальный сайт портала о современных технологиях мобильной и беспроводной связи / – Режим доступа: http://1234g.ru (дата обращения: 28.11.2019).

171. Соковишин М. Проектирование средств радиосвязи стандарта 5G New Radio – проблемы и пути решения. Спектры сигналов миллиметрового диапазона длин волн / Беспроводные технологии. – 2018. – №4. – С.52-55.
172. Кадыр Э.А., Шамсуддин С.М., Рахман Т.А., Исмаил А.И. Большие данные: архитектура сети и технологии 5G / Беспроводные технологии. – 2016. – №2. – С.54 -59.
173. The Official Website of Gartner / Режим доступа: https://www.gartner.com (дата обращения: 06.12.2019).
174. Зимин А.Г. Обзор функциональных возможностей GSM/GPRS/EDGE модулей нового поколения / T-COMM: телекоммуникации и транспорт. –2009. – №S1. – С. 99-90.
175. Алексеев В. Высокоскоростные сети мобильной связи поколения 3G. Часть 1. Технология сетей мобильной связи UMTS / Беспроводные технологии. – 2011. – №1. – С.4-9.
176. Долгун В., Козлова О. Переход от LTE-Advanced к 5G / Беспроводные технологии. – 2016. – №2. – С.12-14.
177. Трофимова Е. Из LTE в 5G: трудности переходного возраста / Беспроводные технологии. – 2017. – №2. – С.10-13.
178. Лоутон М. Пора тестировать LTE. Возможно ли взаимодействие с сетями 2G и 3G? / Беспроводные технологии. – 2012. – №1. – С.5-7.
179. Развитие 5G в России и мире: взгляд в будущее / GSMA, 2019. – 28 с.
180. Tadviser. Государств. Бизнес. ИТ / – Режим доступа: http://www.tadviser.ru (дата обращения: 03.12.2019).
181. The Official Website of IDC / Режим доступа: https://www.idc.com (дата обращения: 15.01.2020).
182. Официальный сайт IDC Russia / Режим доступа: https://idcrussia.com (дата обращения: 15.01.2020).
183. Объем российского рынка интернета вещей в 2016 году достиг $1,2 млрд / Режим доступа: https://www.vedomosti.ru/technology/

articles/2017/05/15/689785-rinka-interneta-veschei (дата обращения: 15.01.2020).

184. Исследование Orange Business Services и iKS-Consulting показывает стабильный среднегодовой рост российского рынка Интернета вещей на 12% до 2020 года / Режим доступа: https://www.orange-business.com/ru/press/ issledovanie-orange-business-services-i-iks-consulting--pokazyvaet-stabilnyy-srednegodovoy-rost (дата обращения: 15.01.2020).

185. Индустриальный интернет вещей. Перспективы российского рынка / IDC, 2016. – 15 с.

186. Обзор рынка IoT в России / AC&M- -Consulting, 2017. – 13 с.

187. The Six Forces Driving the Internet of Things / PwC, 2016. – 2 p.

188. The key IoT market drivers and IoT market barriers / Режим доступа: https://www.i-scoop.eu/key-iot-market-drivers-iotmarket-barriers (дата обращения: 15.01.2020).

189. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы» / Кремль, 2017 г. – 29 с.

190. Официальный сайт НТИ2035 / Режим доступа: https://nti2035.ru (дата обращения: 15.01.2020).

191. Официальный сайт межотраслевого журнала навигационных технологий «Вестник Глонасс» / Режим доступа: http://vestnik-glonass.ru (дата обращения: 27.12.2019).

192. Белова Л. Инновации в мировой экономике: учебное пособие / – М.: Экономический факультет МГУ им. Ломоносова, 2018. – 148 с.

193. The Official Website of NASA / Режим доступа: https://www.nasa.gov (дата обращения: 08.12.2019).

194. Definition Of Technology Readiness Levels / NASA. – 1 p. – Режим доступа: https://esto.nasa.gov/files/trl_definitions.pdf (дата 08.12.2019).

# ПРИЛОЖЕНИЕ

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

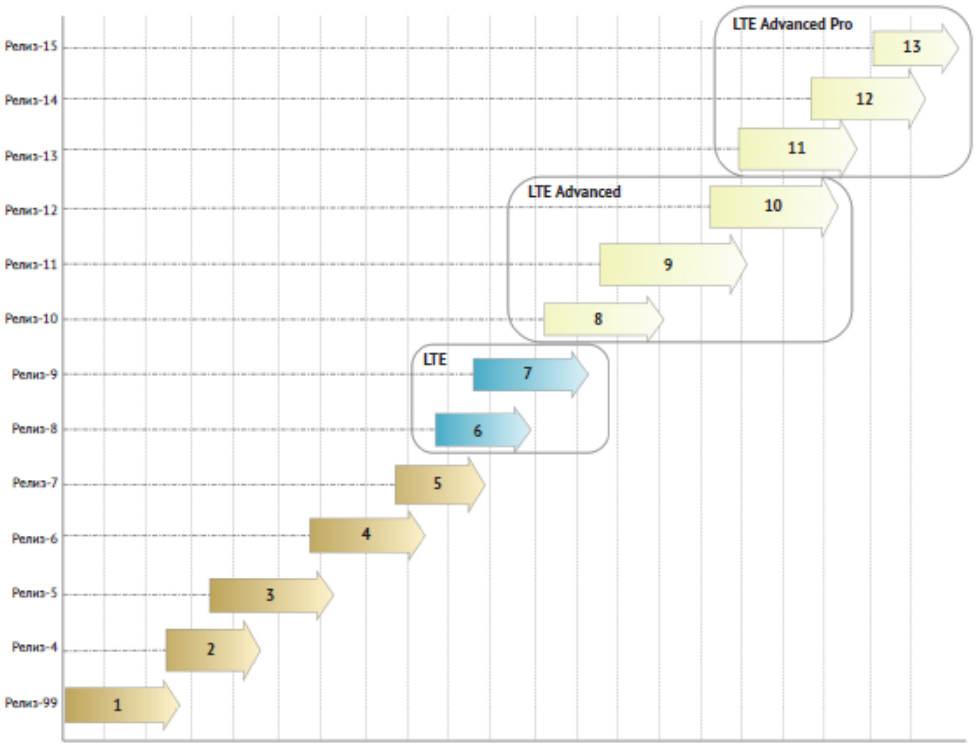
Табл. 18 – Протоколы, стандарты и спецификации, поддерживаемые и регулируемые IEEE

| | |
|---|---|
| **802.15:** | определения беспроводной локальной сети: |
| • 802.15.1 | оригинальная основа Bluetooth PAN |
| • 802.15.2 | спецификации сосуществования для WPAN и WLAN для Bluetooth |
| • 802.15.3: | высокая скорость передачи данных (55 Мбит/с и более) в WPAN для мультимедиа: |
| ○ 802.15.3a | высокоскоростные улучшения PHY |
| ○ 802.15.3b | высокоскоростные усовершенствования MAC; |
| ○ 802.15.3c | высокоскоростная (> 1 ГБps) передача с использованием технологии mm-wave (миллиметровая волна) |
| • 802.15.4: | низкая скорость передачи данных, простой, простой дизайн, многолетняя работа батарей (Zigbee): |
| ○ 802.15.4-2011 | свод (спецификации a-c) включает в себя UWB, Китай и Японию PHY |
| ○ 802.15.4-2015 | свод (спецификация (d-p) включает поддержку RFID, медицински безопасную полосу PHY, низкую энергию, телевизионные белые пространства, железнодорожные связи |
| ○ 802.15.4r (в режиме ожидания) | протокол распространения |
| ○ 802.15.4s | использование ресурсов спектра (SRU) |
| ○ 802.15.t | высокая скорость PHY 2 Мбит/с |
| • 802.15.5 | смешанная сеть |
| • 802.15.6 | сетевая инфраструктура для медицины и развлечений |
| • 802.15.7: | видимая световая связь с использованием структурированного освещения: |
| ○ 802.15.7a | расширяет диапазон до УФ и ближнего ИК диапазона, с измененным именем «оптической беспроводной связи» |
| • 802.15.8 - Peer Aware Communications (PAC) | без доступа к сети со скоростью от 10 Кбит/с до 55 Мбит/с |
| • 802.15.9 | протокол управления ключами (KMP), стандарт управления для обеспечения безопасности |
| • 802.15.10 | маршрутизация сети уровня 2, рекомендует смешанную сеть для 802.15.4, multiPAN |
| • 802.15.12 | интерфейс верхнего уровня, попытка упростить использование 802.15.4 для 802.11 или 802.3 |

Источник: Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с анг. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с. [26].

Сокращение: KMP – Key Management Protocol,
MAC – Media Access Control,
PAC – Peer Aware Communications,
PAN – Personal Area Network,
PHY – Physical Layer,
RFID – Radio Frequency Identification,
SRU – Search Retrieval by URL,
WPAN – Wireless Personal Area Network,
WLAN – Wireless Local Area Network,
UWB – Ultra-Wide Band,
УФ – ультрафиолетовый,
ИК – инфракрасный.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б




1 – W-CDMA радиоинтерфейс, первая IMTS сеть 3G
2 – AKA «Релиз 2000», 1,2 Мб/с дуплексная связь с временным разделением, базовая сеть полностью на IP-протоколе
3 – IMS (спецификация передачи мультимедийного содержимого в электросвязи на основе протокола IP), DSDPA
4 – Интегрированные беспроводные локальные сети, HSUPA, MBMS, глобальная сеть
5 – HSPA+, улучшено качество услуг, ближняя бесконтактная связь (NFC), Edge
6 – Первые LTE технологии, сеть полностью на IP-протоколе, ортогональный множественный доступ с частотным разделением (OFDMA), MIMO
7 – WiMAX и LTE совместимость, модернизация технологии Dualcell LTE
8 – LTE-Advanced, мультиагрегация частот, MIMO 8x8, гетерогенные сети
9 – Совместная многоточечная система (CoMP), усовершенствовано подавление помех, модернизация сети RAN
10 – Модернизированные маленькие ячейки, модернизация агрегации частот, MTC
11 – Нелицензионный LTE, лучеобразование, LTE Advanced Pro, NB-IOT, LTE-M
12 – Транспортные средства: V2V, V2I, оптимизация IoT, FD-MIMO, оптимизация NB-IOT
13 – 5G New Radio, Sub 6 ГГц и mmWave

Рис. 47 – Релизы 3GPP с 2000 по 2020 гг.

Источник: Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с анг. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с. [26].

Сокращение: CoMP – Coordinated Multipoint
DSDPA – High-Speed Downlink Packet Access
FD-MIMO – Full Dimensional MIMO
HSPA – High Speed Packet Access
HSUPA – High Speed Uplink Packet Access
IMS – IP Multimedia Subsystem
IMTS – Improved Mobile Telephone Service
IoT – Internet of Things
IP – Internet Protocol
LTE – Long-Term Evolution
LTE-M – Long Term Evolution for Machines
MBMS – Multimedia Broadcast Multicast Service
MIMO – Multiple Input Multiple Output
MTC – Machine Type Communication
NB-IoT – Narrow Band Internet of Things
NFC – Near Field Communication
OFDMA – Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
RAN – Radio Access Network
V2V – Vehicle-to-Vehicle
V2I – Vehicle-to-Infrastructure
W-CDMA – Wideband Code Division Multiple Access

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

Табл. 19 – Перечень одобренный рекомендаций ITU-T, разработанных ИК13 и относящихся к IMT-2020

| **Вопросы сетей IMT-2020** | **Одобренные рекомендации** |
|---|---|
| Общие требования к сети | Y.3100: Термины и определения для IMT-2020 |
| Услуги, архитектура и управление | Y.3011: Основы сетевой виртуализации для сетей будущих поколений<br>Y.3012: Требования сетевой виртуализации для сетей будущих поколений<br>Y.3300: Основы создания программно-определяемых сетей<br>Y.3320: Требования для применяемых формальных методов к созданию программно-определяемых сетей<br>Y.3321: Требования и основа для расширения возможностей при внедрении интеллектуальных сетей (NICE) с использованием технологий программно-определяемых сетей<br>Y.3322: Функциональная архитектура для расширения возможностей при внедрении интеллектуальных сетей (NICE) с использованием технологий программно-определяемых сетей<br>Y.3101: Требования сети IMT-2020<br>Y.3102: Основы сети IMT-2020<br>Y.3110: Управление сетью IMT-2020 и требования к оркестрированию<br>Y.3111: Основы управление сетью IMT-2020 и оркестрирования<br>Y.3112: Основы поддержки множественных сетевых уровней<br>Y.3130: Требования конвергенции фиксированной и мобильной связи в сети IMT-2020<br>Y.3150: Технические характеристики высокого уровня для программной реализации сети IMT-2020<br>Y.3100-серия Дополнение 44: Стандартизация и деятельность открытых источников, касающаяся программной реализации сети IMT-2020 |
| Передача данных | Y.3031: Идентификация основ для сетей будущих поколений<br>Y.3032: Конфигурация IP адресов на основе узловых Ю и их отображение IP локаторами в сетях будущих поколений<br>Y.3033: Основы сетей определяемых данными<br>Y.3034: Архитектура для взаимодействия гетерогенных составляющих сетей в сетях будущих поколений (FNs)<br>Y.3071: Сети определяемые данными (Информационно-ориентированная сеть) - Требования и возможности<br>Y.3070-серия Дополнение 47: Информационно-ориентированная сеть - Обзор, пробелы в стандартизации и подтверждение концепции |
| Вопросы окружающей среды | Y.3021: Основы энергосбережения для сетей будущих поколений<br>Y.3022: Измерение энергии в сетях |
| Социально-экономические аспекты | Y.3013: Социально-экономическая оценка сетей будущих поколений путем анализа конфликтов<br>Y.3035: Универсализация услуг сетей будущих поколений |
| Умные всеохватывающие сети | Y.3041, Y.3042, Y.3043, Y.3044, Y.3045 |

Источник: Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Айтмагамбетов А.З. Сети мобильной связи 5G: Перспективы создания и развития / Алматы, Казахстан: Из-во "Ак-Шагыл", 2019. – 348 с. [48].

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Табл. 20 – Спецификации 3GPP Релиза 15 по 5G (серия 38)

| Номер спецификации | Название |
|---|---|
| TS 38.101 | NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception |
| TS 38.101-1 | NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception;<br>Part 1: Range 1 Standalone |
| TS 38.101-2 | NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception;<br>Part 2: Range 2 ' Standalone |
| TS 38.101-3 | NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception;<br>Part 3: Range 1 and Range 2 Interworking operation with other radios |
| TS 38.101-4 | NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception;<br>Part 4: Performance requirements |
| TS 38.104 | NR; Base Station (BS) radio transmission and reception |
| TS 38.113 | NR; Base Station (BS) ElectroMagnetic Compatibility (EMC) |
| TS 38.124 | NR; Electromagnetic compatibility (EMC) requirements<br>for mobile terminals and ancillary equipment |
| TS 38.133 | NR; Requirements for support of radio resource management |
| TS 38.141 | NR; Base Station (BS) conformance testing |
| TS 38.141-1 | NR; Base Station (BS) conformance testing<br>Part 1: Conducted conformance testing |
| TS 38.141-2 | NR; Base Station (BS) conformance testing<br>Part 2: Radiated conformance testing |
| TS 38.201 | NR; Physical layer; General description |
| TS 38.202 | NR; Services provided by the physical layer |
| TS 38.211 | NR; Physical channels and modulation |
| TS 38.212 | NR; Multiplexing and channel coding |
| TS 38.213 | NR; Physical layer procedures for control |
| TS 38.214 | NR; Physical layer procedures for data |
| TS 38.215 | NR; Physical layer measurements |
| TS 38.300 | NR; Overall description; Stage-2 |
| TS 38.304 | NR; User Equipment (UE) procedures in idle mode and in RRC Inactive state |
| TS 38.305 | NG Radio Access Network (NG-RAN);<br>Stage 2 functional specification of User Equipment (UE)<br>positioning in NG-RAN |
| TS 38.306 | NR; User Equipment (UE) radio access capabilities |

Продолжение Табл. 20

| Номер спецификации | Название |
|---|---|
| TS 38.307 | NR; Requirements on UEs supporting<br>a release-independent frequency band |
| TS 38.321 | NR; MAC protocol specification |
| TS 38.322 | NR; RLC protocol specification |
| TS 38.323 | NR; PDCP specification |
| TS 38.331 | NR; RRC; Protocol specification |
| TS 38.401 | NG-RAN; Architecture description |
| TS 38.410 | NG-RAN; NG general aspects and principles |
| TS 38.411 | NG-RAN; NG layer 1 |
| TS 38.412 | NG-RAN; NG signalling transport |
| TS 38.413 | NG-RAN; NGAP |
| TS 38.414 | NG-RAN; NG data transport |
| TS 38.415 | PDU Session User Plane protocol |
| TS 38.420 | NG-RAN; Xn general aspects and principles |
| TS 38.421 | NG-RAN; Xn layer 1 |
| TS 38.422 | NG-RAN; Xn signalling transport |
| TS 38.423 | NG-RAN; XnAP |
| TS 38.424 | NG-RAN; Xn data transport |
| TS 38.425 | NG-RAN; NR user plane protocol |
| TS 38.455 | NG-RAN; NR Positioning Protocol A |
| TS 38.460 | NG-RAN; E1 general aspects and principles |
| TS 38.461 | NG-RAN; E1 layer 1 |
| TS 38.462 | NG-RAN; E1 signalling transport |
| TS 38.463 | NG-RAN; E1AP |
| TS 38.470 | NG-RAN; F1 general aspects and principles |
| TS 38.471 | NG-RAN; F1 layer 1 |
| TS 38.472 | NG-RAN; F1 signalling transport |
| TS 38.473 | NG-RAN; F1AP |
| TS 38.474 | NG-RAN; F1 data transport |
| TS 38.475 | NG-RAN; F1 interface user plane protocol |
| TS 38.508-1 | 5GS; UE conformance specification;<br>Part 1: Common test environment |
| TS 38.508-2 | 5GS; UE conformance specification;<br>Part 2: Common ICS proforma |
| TS 38.509 | 5GS; Special conformance testing functions for UE |

Продолжение Табл. 20

| Номер спецификации | Название |
|---|---|
| TS 38.521-1 | NR; UE conformance specification;<br>Radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone |
| TS 38.521-2 | NR; UE conformance specification;<br>Radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone |
| TS 38.521-3 | NR; UE conformance specification;<br>Radio transmission and reception;<br>Part 3: NR interworking between NR rangel and NR range2;<br>and between NR and LTE |
| TS 38.521-4 | NR; UE conformance specification;<br>Radio transmission and reception; Part 4: Performance |
| TS 38.522 | NR; UE conformance specification; Applicability of RF and RRM test cases |
| TS 38.523-1 | 5GS; UE conformance specification; Part 1: Protocol conformance |
| TS 38.523-2 | 5GS; UE conformance specification;<br>Part 2: ICS proforma specification |
| TS 38.523-3 | 5GS; UE conformance specification; Part 3: Test Suites |
| TS 38.533 | NR; UE conformance specification; RRM |
| TR 38.801 | Study on new radio access technology:<br>Radio access architecture and interfaces |
| TR 38.802 | Study on new radio access technology Physical layer aspects |
| TR 38.803 | Study on new radio access technology:<br>RFnand co-existence aspects |
| TR 38.804 | Study on new radio access technology Radio interface protocol aspects |
| TR 38.805 | Study on new radio access technology; 60 GHz unlicensed spectrum |
| TR 38.806 | Study of separation of NR CP and UP for split option 2 |
| TR 38.810 | Study on test methods for New Radio |
| TR 38.811 | Study on NR to support non-terrestrial networks |
| TR 38.812 | Study on NOMA for NR |
| TR 38.813 | New frequency range for NR (3.3-4.2 GHz) |
| TR 38.814 | New frequency range for NR (4.4-4.99 GHz) |
| TR 38.815 | New frequency range for NR (24.25-29.5 GHz) |
| TR 38.816 | Study on CU-DU lower layer split for NR |
| TR 38.817-01 | General aspects for UE RF for NR |
| TR 38.817-02 | General aspects for BS RF for NR |
| TR 38.818 | General aspects for RRM and demodulation for NR |
| TR 38.874 | NR; Study on integrated access and backhaul |

Продолжение Табл. 20

| Номер спецификации | Название |
|---|---|
| TR 38.889 | Study on NR-based access to unlicensed spectrum |
| TR 38.900 | Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz |
| TR 38.901 | Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz |
| TR 38.903 | NR; Derivation of test tolerances for RRM and UE radio reception conformance tests |
| TR 38.905 | NR; Derivation of test points for radio transmission and reception conformance test cases |
| TR 38.912 | Study on new radio access technology |
| TR 38.913 | Study on scenarios and requirements for next generation access technologies |

Источник: Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Айтмагамбетов А.З. Сети мобильной связи 5G: Перспективы создания и развития / Алматы, Казахстан: Из-во "Ак-Шагыл", 2019. – 348 с. [48].

Сокращения: 5GS – 5G System;
BS –Base Station;
CP – Control Plane;
E1AP – E1 Application Protocol;
EMC –Electro-Magnetic Compatibility;
F1AP – F1 Application Protocol;
ICS – Implementation Conformance Statement ;
MAC – Medium Access Control;
NG – New Generation;
NG-RAN – NG Radio Access Network;
NGAP – NG Application Protocol;
NOMA – Non-Orthogonal Multiple Access;
NR – New Radio;
PDCP – Packet Data Convergence Protocol;
RF – Radio Frequency;
RLC – Radio Link Control;
RRC – Radio Resource Control;
RRM –Radio Resource Management;
UE – User Equipment;
UP –User Plane;
XnAP – Xn Application Protocol.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Табл. 21 – Письмо Еврокомиссии,
устанавливающее развертывание систем ITS в Европе (COM/2016/0766)

| **Сервисы “Day-1”** |
|---|
| *Информирование об Опасности:* |
| 1. Медленное или стоящее транспортное средство; предупреждение о трафике [Slow or stationary vehicle(s) & traffic ahead warning (SSV/TJW)];<br>2. Предупреждение о дорожных работах [Road works warning (RWW)];<br>3. Информирование о погодных условиях [Weather conditions (WTC)];<br>4. Информирование об экстренном торможении [Emergency brake light (EBL)];<br>5. Информирование о приближающемся автомобиле специального назначения [Emergency vehicle approaching (EVA)];<br>6. Предупреждение о других опасностях [Other hazards (HLN/ WWD)]; |
| *Информационные Приложения:* |
| 1. Информация о дорожных знаках [In-vehicle signage (IVS/VSGN)];<br>2. Информация об ограничении скорости [In-vehicle speed limits (IVSL/VSPD)];<br>3. Предупреждение о возможном нарушении правил на перекрестке [Signal violation / intersection safety (CCRW/SigV)];<br>4. Запрос на проезд перекрестка от специального транспорта [Traffic signal priority request by designated vehicles (TSP)];<br>5. Информирование об оптимальной скорости подъезда к перекрестку [Green light optimal speed advisory (GLOSA)];<br>6. Сбор информации о трафике и об автомобиле [Probe vehicle data (PVD)];<br>7. Информирование об оптимальной скорости движения для предотвращения заторов [Shockwave damping (SWD)]. |
| **Сервисы “Day-1.5”** |
| 1. Информирование о заправочных и зарядных станциях [Information on fuelling & charging stations for alternative fuel vehicles (iFuel)];<br>2. Сервисы защиты уязвимых участников движения (пешеходов, велосипедистов и др.) [Vulnerable road user protection (VRU)];<br>3. Сервисы уличной парковки [On-street parking management & information (PMang)];<br>4. Сервисы выделенной парковки [Off-street parking information (PInfo)];<br>5. Сервисы перехватывающей парковки [Park & ride information (P&Ride)];<br>6. Системы кооперативной навигации (парковка, предложение маршрута, совместное координация движения) [Connected & cooperative navigation into and out of the city (first and last mile, parking, route advice, coordinated traffic lights) (ZAC/…)];<br>7. Информирование о трафике и кооперативная навигация [Traffic information & smart routing (SmartR)]. |

Источник: COM/2016/0766 A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility / European Commission. – November, 2016. –12 p. [111]

Табл. 22 – Основные архитектурные стандарты кооперативной ИТС

| **ETSI TR 101 607** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);<br>Cooperative ITS (C-ITS);<br>Release 1** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Список основных спецификаций “ITS Release 1”.<br>Текущая версия документа устарела и в ближайшее время будет обновлена. |
| 1.1.1 | 2013 | **Release 1.**<br>Устарел, в процессе изменения | |
| | | | |
| **ETSI TS 102 731** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Security;<br>Security Services and Architecture** |
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт был призван определить структуру системы безопасности ITS. В настоящее время устарел и заменен на ETSI TS 102 940 |
| 1.1.1 | 2010 | Устарел и будет удален из Release 1. | |
| | | | |
| **ETSI EN 302 636-3**<br>(ex. ETSI TS 102 636-3) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);<br>Vehicular Communications; GeoNetworking;<br>Part 3: Network Architecture** |
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт определяет архитектуру сетевого уровня кооперативной ИТС, возможности, требования и принципы функционирования и адресации протокола GeoNetworking. Стандарт необходим для реализации кооперативной ИТС по технологии ITS-G5 на основе на основе протокола GeoNetworking. |
| 1.2.1 | 2014 | **Release 1.**<br>Актуален | |
| | | | |
| **ETSI EG 202 798** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Testing;<br>Framework for conformance and interoperability testing** |
| Версия | Год | Актуальность | Документ описывает архитектуру тестовой системы, процедуру и требования к оборудованию для проведения тестирования на соответствие протоколам связи ИТС. |
| 1.1.1 | 2011 | **Release 1.**<br>Актуален | |
| | | | |
| **ETSI TR 102 962** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);<br>Framework for Public Mobile Networks in Cooperative ITS (C-ITS)** |
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт описывает использование стандартов кооперативной ИТС для передачи информации посредством сетей сотовой связи. В настоящее время стандарт дополняется, чтобы включать в себя архитектуру LTE C-V2X и новая версия должна быть опубликована в 2019 году. |
| 1.1.1 | 2012 | **Release 1.**<br>Актуален | |
| | 2019 | | |
| | | | |
| **ETSI TS 102 940** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Security;<br>ITS communications security architecture and security management** |
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт описывает архитектуру инфраструктуры безопасности кооперативной ИТС, определяет роли, алгоритмы, интерфейсы и способы взаимодействия различных модулей системы безопасности. Европейские политики безопасности были написаны на основе этого стандарта. На настоящее время стандарт актуален, но будет дополнен в части безопасности систем LTE C-V2X. |
| 1.2.1 | 2016 | Устарел | |
| 1.3.1 | 2018 | **Release 1.**<br>Актуален | |

Продолжение Табл. 22

<table>
<tr><td colspan="3">ISO/TS 21217:2014</td><td>Intelligent transport systems;<br>Communications access for land mobiles (CALM); Architecture</td></tr>
<tr><td>Версия</td><td>Год</td><td>Актуальность</td><td rowspan="2">Техническая спецификация описывает абстрактную архитектуру узла ИТС, определяет элементы ИТС, способы взаимодействия узлов ИТС. Является одним из основных архитектурных стандартов ИТС. Положения данной спецификации явно или неявно используются практически во всех реализациях кооперативной ИТС. Спецификация не входит в пакеты стандартов ETSI ITS, но необходим для понимания общих принципов организации и структурного взаимодействия кооперативной ИТС.</td></tr>
<tr><td></td><td>2014</td><td>Актуален</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="3">ISO/TS 17427-1:2018</td><td>Intelligent transport systems; Cooperative ITS;<br>Part 1: Roles and responsibilities in the context of<br>co-operative ITS architecture(s)</td></tr>
<tr><td>Версия</td><td>Год</td><td>Актуальность</td><td rowspan="3">Документ является развитием ISO/TS 17427:2014 “Roles and responsibilities in the context of cooperative ITS based on architecture(s) for cooperative systems”. Документ содержит описание элементов и частей кооперативной ИТС, их ролей, функциональности и области ответственности. В документе дается высокоуровневое описание архитектуры кооперативной ИТС. Документ может быть использован в качестве плана по разработке системы, предоставляющей сервисы ИТС. Его положения не зависят от используемой технологии связи и универсальны. Многие документы ETSI ссылаются на предыдущую версию данной спецификации.</td></tr>
<tr><td></td><td>2014</td><td>Устарел</td></tr>
<tr><td></td><td>2018</td><td>Актуален</td></tr>
</table>

Источник: составлено автором.

Табл. 23 – Архитектурные стандарты C-V2X и связанные с ними

| **3GPP TR 22.885** | | | **3rd Generation Partnership Project;<br>Technical Specification Group Services and System Aspects;<br>Study on LTE support for Vehicle to Everything (V2X) services** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Документ посвящен исследованию применения технологии LTE для осуществления связи V2X. Разработки документа легли в основу спецификации TS 22.185. Является частью 3GPP “Release 14”.<br>Не является стандартом. В настоящий обзор данная спецификация добавлена в информационных целях. |
| 14.0 | 2016 | Актуален | |
| | | | |
| **3GPP TR 36.885** | | | **3rd Generation Partnership Project;<br>Technical Specification Group Radio Access Network;<br>Study on LTE-based V2X Services;** |
| Версия | Год | Актуальность | Документ посвящен исследованию применения стандартов LTE C-V2X для построения кооперативной ИТС.<br>Является частью 3GPP “Release 14”. |
| 14.0 | 2016 | Актуален | |
| | | | |
| **3GPP TS 22.185** | | | **3rd Generation Partnership Project; LTE;<br>Service requirements for V2X services** |
| Версия | Год | Актуальность | Документ представляет собой адаптацию требований к системам коммуникаций ITS для систем C-V2X.<br>Является частью 3GPP “Release 14” и “Release 15”. |
| 14.4.0 | 2018 | Актуален | |
| 15.0.0 | 2018 | Актуален | |
| | | | |
| **3GPP TR 23.785** | | | **3rd Generation Partnership Project;<br>Technical Specification Group Services and System Aspects;<br>Study on architecture enhancements for LTE support of V2X services** |
| Версия | Год | Актуальность | Документ посвящен исследованию возможных изменений в спецификации LTE C-V2X для поддержки требований к организации кооперативной ИТС на основе C-V2X. Разработки документа легли в основу спецификации TS 23.285. Является частью 3GPP “Release 14”.<br>Не является стандартом. В настоящий обзор данная спецификация добавлена в информационных целях. |
| 14.0 | 2016 | Актуален | |
| | | | |
| **3GPP TS 23.285** | | | **Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE;<br>Architecture enhancements for V2X services** |
| Версия | Год | Актуальность | Данная спецификация 3GPP дополняет спецификацию TS 22.185, описывая возможности V2V коммуникаций через интерфейс PC5 и/или интерфейс LTE-Uu.<br>Описывается референсная архитектура, интерфейсы, возможности.<br>Является частью 3GPP “Release 14” и “Release 15”. |
| 14.7.0 | 2018 | Актуален | |
| 15.1.0 | 2018 | Актуален | |
| | | | |
| **ETSI TR 103 577** | | | **Intelligent Transportation Systems (ITS);<br>Development of ETSI TC ITS standards<br>describing how to consider C-V2X** |
| Версия | Год | Актуальность | Документ содержит исследования изменений в стандартах ETSI ITS, необходимых для поддержки использования технологии C-V2X<br>Не является стандартом. В настоящий обзор добавлен в информационных целях. |
| 0.0.1 | 2019 | В разработке | |

Источник: составлено автором.

Табл. 24 – Стандарты ETSI уровня приложений ИТС

| **ETSI TR 102 638** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт содержит список и описание основных сервисов кооп. ИТС. Стандарт опубликован в 2009 году и не включает многие современные сервисы. Было несколько попыток обновить стандарт, но ни один вариант не был опубликован. Новая версия 1.2.1, включающая в себя список сервисов “ITS Release 2”, запланирована к публикации в 2019. |
| 1.1.1 | 2009 | **Release 1.** Актуален | |
| 1.2.1 | 2019 | | |
| | | | |
| **ETSI TS 101 539-1** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 1: Road Hazard Signalling (RHS) application requirements specification** |
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт описывает требования и функциональность сервиса RHS - Информирования о Дорожной Опасности. Включает в себя как описание принципов детектирования и передачи информации о разных видах дорожных опасностей, так и варианты оповещения участников движения и меры, которые могут быть приняты в результате таких сообщений. Стандарт востребован для реализации сервисов Day-1. |
| 1.1.1 | 2013 | **Release 1.** Актуален | |
| | | | |
| **ETSI TS 101 539-2** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 2: Intersection Collision Risk Warning (ICRW) application requirements specification** |
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация содержит описание сервиса предупреждения столкновения при проезде перекрестка. Включает в себя параметры сообщений CAM, DENM и других, используемых для детектирования опасности столкновения, функциональные требования к приложениям ICRW. Стандарт востребован для реализации сервисов Day-1. |
| 1.1.1 | 2018 | **Release 1.** Актуален | |
| | | | |
| **ETSI TS 101 539-3** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 3: Longitudinal Collision Risk Warning (LCRW) application requirements specification** |
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация сервиса предупреждения столкновения с медленно движущейся или неподвижной станцией ИТС. Включает в себя описание принципов детектирования опасности, передачи информации об опасности, способы оповещения участников движения и меры, которые могут быть приняты автоматически в результате таких сообщений. Стандарт востребован для реализации сервисов Day-1. |
| 1.1.1 | 2013 | **Release 1.** Актуален | |
| | | | |
| **ETSI TS 101 556-1** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Infrastructure to Vehicle Communication; Part 1: Electric Vehicle Charging Spot Notification Specification** |
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт содержит спецификацию сервиса зарядной станции электрических автомобилей. Является частью сервисов Day-1.5. |
| 1.1.1 | 2012 | **Release 1.** Актуален | |
| | | | |
| **ETSI TS 101 556-2** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Infrastructure to Vehicle Communication; Part 2: Communication system specification to support application requirements for Tyre Information System (TIS) and Tyre Pressure Gauge (TPG) interoperability** |
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация сервисов информации о шинах автомобиля, требуемой величине давления в шинах. Спецификация может быть востребована при реализации сервисов Day-1.5 и Day-2. В настоящее время широко не используется. |
| 1.1.1 | 2016 | **Release 1.** Актуален | |
| | | | |
| **ETSI TS 101 556-3** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Infrastructure to Vehicle Communications; Part 3: Communications system for the planning and reservation of EV energy supply using wireless networks** |
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация сервиса резервирования зарядной станции (iFuel). Спец-ция м.б. востребована при р-ции сервисов Day-1.5 и Day-2. Были попытки исп-ния в пилотных проектах в Великобритании и Германии. |
| 1.1.1 | 2014 | **Release 1.** Актуален | |

Табл. 25 – Стандарты ETSI уровня приложений ИТС (в процессе разработки)

<table>
<tr><td colspan="3">ETSI EN 302 890-1<br>(ex. ETSI TS 102 890-1)<br>(ETSI ITS WG2)</td><td>Intelligent Transport Systems (ITS);<br>Facilities layer function;<br>Part 1: Services Announcement (SA) specification</td></tr>
<tr><td>Версия</td><td>Год</td><td>Актуальность</td><td rowspan="2">Сервис кооперативного ИТС позволяющий информировать участников о доступных сервисах. На текущий момент используется только в тестовых целях, так как для сервисов “Day-1” не требуется. Публикация отложена до гармонизации со стандартом ISO 22418, предоставляющим более широкие, но излишние возможности.</td></tr>
<tr><td>1.2.0</td><td>2018</td><td>Release 1.<br>В процессе публикации</td></tr>
<tr><td colspan="3">ISO 22418</td><td>Intelligent transport systems;<br>Fast service announcement protocol (FSAP)</td></tr>
<tr><td>Версия</td><td>Год</td><td>Актуальность</td><td rowspan="4">Сервис кооперативного ИТС позволяющий информировать участников о доступных сервисах. Определяет структуры данных, используемые в ETSI EN 302 890-1. Новая версия находится в процессе разработки. Среди запланированных изменений гармонизация стандарта с ETSI EN 302 890-1</td></tr>
<tr><td></td><td>2013</td><td>Устарел.</td></tr>
<tr><td></td><td>2018</td><td>Актуален</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>В разработке</td></tr>
<tr><td colspan="3">TS 103 152<br>(ETSI ITS WG1)</td><td>Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Communications; Multimedia Content Dissemination Basic Service specification</td></tr>
<tr><td>Версия</td><td>Год</td><td>Статус</td><td rowspan="2">Сервис MCD позволяет участникам кооперативной ИТС обмениваться различным мультимедийным контентом. Сообщения могут быть переданы различными способами и адресованы различным узлам или различным сегментам сети. Принятие было запланировано в 2018 году, но отложено до конца 2019 в связи с неготовностью документа.</td></tr>
<tr><td></td><td>2019</td><td>Стабильный<br>Черновик</td></tr>
<tr><td colspan="3">TS 103 324<br>(ETSI ITS WG1)</td><td>Intelligent Transport Systems (ITS); Cooperative Observation Services<br>Другое название: “Collective Perception Service”</td></tr>
<tr><td>Версия</td><td>Год</td><td>Актуальность</td><td rowspan="2">Сервис кооперативного наблюдения (COS) дополняет функциональность сервиса CA, позволяя узлу ИТС информировать участников кооперативной ИТС о положении и атрибутах других узлов. Сервис COS (CPS) является опциональным, позволяет увеличить радиус информирования узлов сети и, следовательно, потенциально увеличить уровень безопасности. В настоящий момент стандарт находится на этапе разработки. Принятие запланировано на 2019 год.</td></tr>
<tr><td>0.0.12</td><td>2019</td><td>Черновик</td></tr>
<tr><td colspan="3">ETSI TS 103 300-2<br>(ETSI ITS WG1)</td><td>Intelligent Transport System (ITS);<br>Vulnerable Road Users (VRU) awareness;<br>Part 2: Functional Architecture and Requirements definition</td></tr>
<tr><td>Версия</td><td>Год</td><td>Актуальность</td><td rowspan="2">VRU - сервис обнаружения уязвимых участников ИТС (пешеходов, велосипедистов и т.д.). Спецификация будет включать в себя архитектуру сервиса и функциональные требования. Работа над стандартом начнется в 2019 году.</td></tr>
<tr><td></td><td>2020-2021</td><td>Черновик</td></tr>
</table>

Источник: составлено автором.

Табл. 26 – Стандарты ETSI уровня представлений ИТС

| **ETSI TS 102 894-1**<br>(ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);**<br>**Users and applications requirements;**<br>**Part 1: Facility layer structure, functional requirements and specifications** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация определяет структуру узла ИТС, типы различных узлов, содержит требования к функциональности узла для поддержки необходимых сервисов. Стандарт актуален, но в ближайшем будущем может быть изменен в целях поддержки требований LTE C-V2X. |
| 1.1.1 | 2013 | **Release 1.**<br>Актуален | |

| **ETSI TS 102 894-2**<br>(ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);**<br>**Users and applications requirements;**<br>**Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Стандарт содержит ASN.1 модуль ITS-Container, определяющий основные типы данных, используемых сервисами ИТС.<br>Стандарт обновлен в 2018 году. Многие сервисы продолжают ссылаться на предыдущую версию стандарта 1.2.1. |
| 1.2.1 | 2014 | Устарел, но продолжает использоваться | |
| 1.3.1 | 2018 | **Release 1.**<br>Актуален | |

| **ETSI EN 302 637-2**<br>(ex. TS 102 637-2)<br>(ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);**<br>**Vehicular Communications; Basic Set of Applications;**<br>**Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Служба CA – одна из основных служб кооперативной ИТС. Сообщения CAM, описываемые в данном стандарте, служат для информирования участников движения о положении, динамике и атрибутах станции ИТС. Стандарт необходим для реализации любых сервисов ИТС.<br>В настоящее время публикуется новая версия стандарта 1.4.1, устраняющая несовместимость с LTE C-V2X и использующая новую версию модуля ITS-Container. |
| 1.3.2 | 2014 | Актуален | |
| 1.4.0 | 2019 | В процессе публикации.<br>**Release 1.** | |

| **ETSI EN 302 637-3**<br>(ex. TS 102 637-3)<br>(ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);**<br>**Vehicular Communications; Basic Set of Applications;**<br>**Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация службы DEN – децентрализованной службы уведомления о событиях. Сообщения DENM, определяемые данной спецификацией необходимы для большинства сервисов ИТС.<br>В настоящее время публикуется новая версия стандарта 1.3.1, устраняющая несовместимость с LTE C-V2X и использующая новую версию модуля ITS-Container. |
| 1.2.2 | 2014 | Актуален | |
| 1.3.0 | 2019 | В процессе публикации.<br>**Release 1.** | |

| **ETSI EN 302 895**<br>(ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);**<br>**Vehicular Communications; Basic Set of Applications;**<br>**Local Dynamic Map (LDM)** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Служба LDM – это внутренняя служба станции ИТС, позволяющая сервисам ИТС находить окружающие их узлы. Данная спецификация определяет требования к имплементации службы LDM.<br>Стандарты сервисов ИТС подразумевают, что станция ИТС предоставляет интерфейсы службы LDM. |
| 1.1.1 | | **Release 1.**<br>Актуален | |

| **ETSI EN 302 890-2**<br>(ex. ETSI TS 102 890-2)<br>(ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS);**<br>**Facilities layer function;**<br>**Part 2: Position and time facility specification** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Статус | Служба PoTi позволяет сервисам ИТС уточнять свою позицию и исправлять ошибки геолокализации. Стандарт в активной разработке и планируется к опубликованию в 2020 году. |
| | 2020 | **Release 1.**<br>Черновик | |

| **ETSI TS 103 301** | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Не входит в “ITS Release 1”. Является, по сути, «оберткой» для стандартов ISO, описывающих инфраструктурные сервисы V2I и I2V: SPAT, MAP, IVI и другие. Стандарт активно используется во многих пилотных проектах. В настоящее время стандарт исправляется и дополняется и версия 1.3.1 должна быть опубликована в конце 2019. |
| 1.2.1 | 2016 | Актуален | |
| 1.3.1 | 2019 | В разработке | |
| | | | |
| **CEN ISO/TS 19321-2015** | | | **Intelligent transport systems; Cooperative ITS; Dictionary of in-vehicle information (IVI) data structures.** |
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация содержит ASN.1 модуль, определяющий структуры данных необходимые для реализации службы IVI.Данная спецификация необходима для реализации многих сервисов Day-1.5 и Day-2. |
| | 2015 | Актуален | |
| | | | |
| **CEN ISO/TS 19091** | | | **Intelligent transport systems; Cooperative ITS; Using V2I and I2V communications for applications related to signalized intersections.** |
| Версия | Год | Актуальность | Спецификация содержит ASN.1 модули содержащие структуры данных (MAP, CPAT, SR/SS), необходимые для реализации сервисов проезда перекрестков: TLM, RLT, TLC и других. Данная спецификация необходима для реализации многих сервисов Day-1.5 и Day-2. Новая версия стандарта находится в разработке. |
| | 2017 | Актуален | |
| | | В разработке | |

Табл. 27 – Стандарты передачи данных между узлами инфраструктуры ИТС

| **CEN/TS 16157** | | | **Intelligent transport systems; DATEX II data exchange specifications for traffic management and information** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Актуальность | Данная спецификация описывает протокол связи DATEX II применяемый для передачи информации между RSU и центральными узлами ITS. Спецификация не является частью пакета стандартов кооперативной ИТС и представлена здесь в информационных целях. |
| | | Актуален | |

Табл. 28 – Стандарты передачи данных между узлами инфраструктуры ИТС (в процессе разработки)

| **ETSI TS 103 561** (ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Maneuver Coordination Service** |
|---|---|---|---|
| Версия | Год | Статус | Сервис MCS призван информировать других участников движения о предполагаемых маневрах и координировать действия узлов сети. Работа над стандартом началась. Принятие запланировано в 2019 году, но вероятно будет отложено до 2020. |
| | 2019-2020 | В разработке | |
| | | | |
| **ETSI EN 302 890-2** (ex. ETSI TS 102 890-2) (ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Part 2: Position and time facility specification** |
| Версия | Год | Статус | Служба PoTi позволяет сервисам ИТС уточнять свою позицию и исправлять ошибки геолокализации. Стандарт в активной разработке и планируется к опубликованию в 2020 году. |
| | 2020 | Черновик | |
| | | | |
| **TS 103 300-3** (ETSI ITS WG1) | | | **Intelligent Transport System (ITS); Vulnerable Road Users (VRU) awareness; Part 3: Specification of VRU awareness basic service** |
| Версия | Год | Актуальность | VRU - сервис обнаружения уязвимых участников ИТС (пешеходов, велосипедистов и т.д.). Стандарт будет включать в себя спецификацию протокола, ключевые интерфейсы и операции. Работа над стандартом начнется в 2019 году. |
| | 2020-2021 | Черновик | |

Источник: составлено автором.

Примечания к таблицам 2-7:

ETSI публикует документы нескольких категорий, среди которых:

- ETSI EN – Европейская норма – гармонизированный стандарт, принимаемый на всей территории ЕС. Многие основные стандарты кооперативной ИТС, разработанные по мандату Еврокомиссии, опубликованы в формате ETSI EN.
- ETSI TS – Техническая спецификация ETSI. Является негармонизированным стандартом. Большинство сопутствующих стандартов кооперативной ИТС опубликованы в формате ETSI TS. Так, например, все релизы 3GPP являются в то же время техническими спецификациями ETSI.
- ETSI TR – Технический отчет ETSI. Не является стандартом и не может включать обязательные требования. В качестве технического репорта публикуются пре-стандартизационные исследования, отчеты о совещаниях, различные инструкции и другие документы, не являющиеся спецификациями.

Документы ISO также подразделяются на несколько категорий. Наиболее используемыми в области ИТС являются:

- ISO – международный гармонизированный стандарт.
- ISO/TS – техническая спецификация, отражающая текущую работу. Может быть преобразована в международный стандарт.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Табл. 29 – Стадии цикла Гартнера

| Стадия | Описание |
|---|---|
| Запуск технологии | Появление инновации, первые публикации о новой технологии |
| Пик завышенных ожиданий | От новой технологии ожидают революционных свойств, технология, благодаря новизне, становится популярной и предметом широкого обсуждения в сообществе |
| Пропасть разочарования | Выявляются недостатки технологии, а утеря новизны не способствует восторженным публикациям, в сообществе отмечается разочарование новой технологией |
| Склон просвещения | Устраняются основные недостатки, интерес к технологии медленно возвращается, технология начинает внедряться в коммерческих проектах |
| Плато продуктивности | Наступление зрелости технологии, сообщество воспринимает технологию как данность, осознавая её достоинства и ограничения |

Источник: составлено по данным:
1.The Official Website of Gartner / – Режим доступа: https://www.gartner.com (дата обращения: 06.12.2019) 173].
2.Белова Л. Инновации в мировой экономике: учебное пособие / – М.: Экономический факультет МГУ [192]. им. Ломоносова, 2018. – 148 с.

Табл. 30 – Уровни готовности технологий

| Уровень готовности технологии | Описание |
|---|---|
| TRL 1 | Сформулирована фундаментальная концепция технологии и обоснование её полезности |
| TRL 2 | Определены целевые области применения технологии и её критические элементы |
| TRL 3 | Получен макетный образец и продемонстрированы его ключевые характеристики |
| TRL 4 | Получен лабораторный образец, подготовлен лабораторный стенд, проведены испытания базовых функций связи с другими элементами системы. |
| TRL 5 | Изготовлен и испытан экспериментальный образец в реальном масштабе по полупромышленной технологии, проведена эмуляция основных внешних условий |
| TRL 6 | Изготовлен полнофункциональный образец на пилотной производственной линии, подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности |
| TRL 7 | Прототип системы продемонстрирован в составе системы в реальных условиях эксплуатации |
| TRL 8 | Окончательное подтверждение работоспособности образца. Разработка. функционирующей реальной системы завершен |
| TRL 9 | Изделие удовлетворяет всем требованиям: инженерным, производственным, эксплуатационным, по качеству и надёжности. Возможна модификация по снижению себестоимости, развитию и эволюции системы. Функционирующая реальная система подтверждена в ходе реальной эксплуатации через успешное выполнение испытательных заданий |

Источник: составлено по данным:
1.The Official Website of NASA / Режим доступа: https://www.nasa.gov (дата обращения: 08.12.2019)
2.Definition Of Technology Readiness Levels / NASA. – 1 p. – Режим доступа: https://esto.nasa.gov/files/trl_definitions.pdf (дата обращения: 08.12.2019)
Примечание: TRL – Technology Readiness Level

Табл. 31 – Процент проникновения технологии на рынок

| **Стадия цикла Гартнера** | **Процент проникновения технологии на рынок** |
|---|---|
| Запуск технологии | Менее 1% целевой аудитории<br>или от 1% до 5% целевой аудитории |
| Пик завышенных ожиданий | От 1% до 5% целевой аудитории<br>или от 5% до 20% целевой аудитории |
| Пропасть разочарования | От 1% до 5% целевой аудитории<br>или от 5% до 20% целевой аудитории |
| Склон просвещения | От 5% до 20% целевой аудитории<br>или от 20% до 50% целевой аудитории |
| Плато продуктивности | От 20% до 50% целевой аудитории<br>или более 50% целевой аудитории |

Источник: составлено по данным:

1. The Official Website of Gartner / Режим доступа: https://www.gartner.com (дата обращения: 06.12.2019) [173].
2. Hype Cycle for Emerging Technologies / Gartner, 2011. – 79 p.

Табл. 32 – Скорость адаптации технологии на рынке

| **Скорость адаптации технологии на рынке** | **Описание** |
|---|---|
| Низкая | Более 10 лет до выхода<br>на стадию «Плато продуктивности» цикла Гартнера |
| Средняя | От двух до десяти лет до выхода<br>на стадию «Плато продуктивности» цикла Гартнера |
| Высокая | Менее двух лет до выхода<br>на стадию «Плато продуктивности» цикла Гартнера<br>или выход из цикла Гартнера |

Источник: составлено по данным:

1. The Official Website of Gartner / Режим доступа: https://www.gartner.com (дата обращения: 06.12.2019) [173].
2. Hype Cycle for Emerging Technologies / Gartner, 2011. – 79 p.

Табл. 33 – Воздействие технологии на бизнес

| **Уровень воздействия технологии на бизнес** | **Описание** |
|---|---|
| Низкий | До двух сфер бизнеса, на которые оказывает влияние технология |
| Средний | От двух до пяти сфер бизнеса, на которые оказывает влияние технология |
| Высокий | Более шести сфер бизнеса, на которые оказывает влияние технология |

Источник: составлено по данным:

1. The Official Website of Gartner / Режим доступа: https://www.gartner.com (дата обращения: 06.12.2019) [173].
2. Hype Cycle for Emerging Technologies / Gartner, 2011. – 79 p.

Табл. 34 – Преимущества от внедрения технологии

| **Уровень преимуществ от внедрения технологий** | **Описание** |
|---|---|
| Низкий | Незначительное улучшение бизнес-процессов, не влияющее на увеличение доходов или сокращение затрат организации |
| Средний | Улучшение существующих бизнес-процессов, что приводит к увеличению доходов или сокращению затрат организации |
| Высокий | Новые способы реализации горизонтальных и вертикальных бизнес-процессов, внедрение которых приводит к значительному увеличению доходов или сокращению затрат организации |
| Преобразовательный | Новые методы ведения бизнеса, внедрение которых приводят к положительным сдвигам в отраслях хозяйства |

Источник: составлено по данным:

1. The Official Website of Gartner / Режим доступа: https://www.gartner.com (дата обращения: 06.12.2019) [173].
2. Hype Cycle for Emerging Technologies / Gartner, 2011. – 79 p.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Табл. 35 – Стадии развития компаний

| **Наименование стадии** | **Описание** |
|---|---|
| Посев (Seed) | На данной стадии компания находится в процессе формирования, имеется лишь идея или проект, идет процесс создания управленческой команды, проводятся НИОКР и маркетинговые исследования, определяется концепция бизнеса, происходит сбор начальных финансовых ресурсов, выполняется создание прототипа. |
| Запуск (Startup) | На данном этапе идет создание команды, проводится анализ конкуренции, осуществляется поиск и привлечение первых клиентов, выполняется переход от прототипа к действующему продукту. |
| Ранний рост (Early stage, early growth) | На данном этапе компания осуществляет выпуск и коммерческую реализацию готовой продукции, хотя пока не имеет устойчивой прибыли; происходит увеличение количества клиентов, выполняется поиск средств на развитие компании, комплектуется штатный персонал компании. На эту стадию приходится «точка безубыточности». |
| Расширение (Expansion) | Венчурная компания занимает определенные позиции на рынке, становится прибыльной, ей требуются расширение производства и сбыта, проведение дополнительных маркетинговых исследований, увеличение основных активов и капитала. На этапе расширения происходит переориентация продукта на массового пользователя и экспоненциальный рост продаж. |
| «Промежуточная» стадия (Mezzanine) | Привлекаются дополнительные инвестиции для улучшения краткосрочных показателей компании, что влечет за собой общее повышение ее капитализации, в компанию средства вкладывают инвесторы, ожидающие быструю отдачу от вложений. |
| Выход (Exit) | Этап развития венчурной компании, на котором происходит создание публичной компании, продажа доли инвестора другому стратегическому инвестору |

Источник: The Official Website of Crunchbase / Режим доступа: https://crunchbase.com (дата обращения: 09.12.2019) [156].
2.The Official Website of AngelList / Режим доступа: https://angel.co (дата обращения: 09.12.2019) [157].
3.Гершанока Г.А. Основы инновационного предпринимательства : учебное пособие / Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2012. – 165 С.

Табл. 36 – Этапы финансирования проекта (типы сделок входа/выхода)

| **Раунд финансирования** | **Описание** |
|---|---|
| Angel | Инвестиции для запуска компании |
| Pre-Seed | Стартовый раунд, в котором либо нет институциональных инвесторов, либо очень небольшая сумма, часто ниже $150 тыс. |
| Seed | Финансирование в компанию, которая только начала свою деятельность, набирает обороты. Размеры финансирования колеблются от $ 10 до 2 млн. |
| Venture - Series Unknown | Инвестиции, полученные от венчурной фирмы, и включающие серию А, серию В и последующие раунды. Этот тип финансирования используется для любого раунда финансирования, который явно является венчурным, но не указан. |
| Series A and Series B | Финансирование для компаний на ранней стадии развития в объеме от $ 1 до 30 млн. |
| Series C | Финансирование компании, закрепившейся и зарекомендовавшей себя на рынке в размере более $10 млн. |
| Equity Crowdfunding | Инвестиции в компанию с использованием краудфандинговых платформ в обмен на акции. Как правило, на этих платформах инвесторы вкладывают небольшие суммы денег, хотя синдикаты создаются для того, чтобы человек мог руководить оценкой инвестиций. |
| Product Crowdfunding | Инвестиции в компанию с использованием краудфандинговых платформ в обмен на продукт, производимый компанией. |
| Private Equity | Финансирование инвестиционной фирмой или хедж-фондом компании на поздней стадии развития. |
| Convertible Note | Промежуточное финансирование, которое помогает компаниям удерживать средства до тех пор, пока они не запланируют перейти на следующий раунд финансирования. |

Продолжение таблицы 2

| | |
|---|---|
| Debt Financing | Финансирование предоставляется в рамках долгового цикла с обязательным возмещением с добавленным процентом. |
| Secondary Market | Мероприятие по сбору средств, в ходе которого один инвестор покупает акции компании у других существующих акционеров, а не напрямую у компании. |
| Grant | Компания, инвестор или государственное учреждение предоставляют капитал компании без участия в капитале компании. |
| Corporate Round | Инвестирование одной компании в другую. Чаще всего данный этап осуществляется с целью партнерства. |
| Initial coin offering (ICO) | Привлечение финансирования посредством краудфандинга с использованием криптовалюты в качестве капитала. |
| Post-IPO Equity | Фирмы инвестируют в компанию после того, как компания уже стала публичной. |
| Post-IPO Debt | Фирмы предоставляют денежные займы после того, как компания уже стала публичной. Подобно долговому финансированию, компания обязана погасить основную сумму, а также добавить проценты по долгу. |
| Post-IPO Secondary | Инвестор покупает акции компании у других, существующих акционеров, а не напрямую у компании после того, как компания уже стала публичной. |
| Non-Equity Assistance | Компания или инвестор предоставляют офисные помещения или наставничество не получая в обмен капитал. |

Источник: The Official Website of Crunchbase / Режим доступа: https://crunchbase.com (дата обращения: 09.12.2019)[**156**].

Табл. 37 – Критерии поиска информации в базах данных Crunchbase и AngelList

| Технология | Поисковый запрос |
|---|---|
| LAT | Navigation technology |
| LAA | Navigation application |
| LBS | Local based service |
| GSM / GPRS / EDGE (2G) | Mobil communication |
| UMTS (3G) | |
| LTE (4G) | |
| NB-IoT | |
| Bluetooth | Personal area network |
| ZigBee | |
| Wi-Fi | Local area network |

Источник: The Official Website of Crunchbase / Режим доступа: https://crunchbase.com (дата обращения: 09.12.2019) [156].
2.The Official Website of AngelList / Режим доступа: https://angel.co (дата обращения: 09.12.2019) [157].

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Табл. 38 – Тестирование предкоммерческих решений для оборудования 5G

| Оператор | Дата тестов | Частотные диапазоны | Вендор | Технологии и параметры | Пропускная способность | Бизнес модель 5G |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NTT DoCoMo | 13/10/2015 | 70 ГГц | Nokia | Технология MIMO | 2 Гбит/с | eMBB |
| NTT DoCoMo | 26/10/2015 | 4.6 ГГц | Fujitsu | Координированная передача/ прием CoMP | 11 Гбит/с | |
| NTT DoCoMo | 12/11/2015 | 28 ГГц | Samsung | Технология 3D Beamforming (BF) | 2.5 Гбит/с при 60 км/ч | |
| NTT DoCoMo | 18/11/2015 | <6 ГГц | Huawei | Технология MIMO- системы | 43.9 бит/с/Гц | |
| NTT DoCoMo | 19/11/2015 | 15 ГГц | Ericsson | Massive MIMO | 10 Гбит/с | |
| Vodafone | 19/07/2016 | 70 ГГц | Huawei | Технология MIMO | 10 Гбит/с (UL), +20 Гбит/с (DL) | |
| Vodafone AU | Q4 2016 | Нет данных | Нет данных | Технология M2M, eMBB | Нет данных | eMBB, FWA |
| Sprint | 14/06/2016 | 15 ГГц | Ericsson | Massive MIMO | 4 Гбит/с | |
| Sprint | 03/06/2016 | 73 ГГц | Nokia | Massive MIMO | 2 Гбит/с | |
| Verizon | 08/09/2015 | 28 ГГц | Samsung, Nokia, Ericsson, QC, Cisco | Massive MIMO | 1.8 Гбит/с | |
| ATT | 06/06/2016 | 3.5, 3.8, 15,28 ГГц | Ericsson, Nokia, Intel | Massive MIMO | 10 Гбит/с | |

Продолжение Табл. 38

| Оператор | Дата тестов | Частотные диапазоны | Вендор | Технологии и параметры | Пропускная способность | Бизнес модель 5G |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T-Mobile | 20/09/2016 | Нет данных | Ericsson | Антенна MIMO 8x8 | 12 Гбит/с | eMBB, FWA |
| Bell | 29/07/2016 | 73 ГГц | Nokia | Massive MIMO | 2 Гбит/с | |
| DT & SKT | 19/08/2016 | Нет данных | Ericsson | NFV, интерфейс SDI, D-Cloud, Network slicing | Нет данных | |
| SKT | Август 2015 | 28 ГГц | Samsung | 3D BF | 7.55 Гбит/с | |
| SKT | 30/10/2015 | сантиметровые волны | Nokia | модуляция 256 QAM, MIMO 8x8, ширина канала 400 МГ ц | 19.1 Гбит/с | |
| KT | 17/02/2016 | Нет данных | Нет данных | Нет данных | Нет данных | eMBB, тМТС |
| Orange / Telefonica | 30/09/2015 | Нет данных (6-100 ГГц) | Samsung, Nokia, Ericsson, Huawei, Intel | Нет данных (измерения распространения) | Нет данных | Нет данных |
| US Cellular | 07/09/2016 | 28 ГГц | Nokia | Нет данных | 5 Гбит/с | |
| SingTel | 04/08/2016 | Нет данных | Ericsson | Нет данных | 27.5 Гбит/с | eMBB |
| TELUS | 04/10/2016 | 28 ГГц | Huawei | Технология Massive MIMO | 29.3 Гбит/с | FWA, eMBB |
| Optus / Singtel | 16/11/2016 | 73 ГГц | Huawei | Технология Massive MIMO | 35 Гбит/с | Нет данных |
| Proximus (Бельгия) | 28/11/2016 | 73 ГГц | Huawei | | 70 Гбит/с | |

Табл. 39 – Результаты тестирования оборудования pre-5G в Российской Федерации

| **Оператор/ Вендер** | **Дата** | **Диапазон** | **Технологии и параметры** | **Скорость** | **Услуга** |
|---|---|---|---|---|---|
| ПАО МТС/ Nokia | Сентябрь 2016 | 4,65-4,85 ГГц | AirFame и AirScale | 4,5 Гбит/с | Видео 8К Ultra HD |
| ПАО МегаФон/ Nokia | 21/09/2016 | 4,65-4,85 ГГц | AirFame и AirScale, 2 CC шириной по 100 МГц | 4.94 Гбит/с | Видео 8К Ultra HD (7680x4320 точек) |
| ПАО МТС/ Ericsson | 20/04/2017 | 14,5-15,3 ГГц | Полоса сигнала 0.8 ГГц, Multi-User и Massive MIMO | ДО 25 Гбит/с | потоковое видео в формате 4К |
| ПАО МегаФон/ Huawei | 1/06/2017 | 70 ГГц (E-Band) | Полоса сигнала 2 ГГц | 35 Гбит/с | Нет данных |
| ПАО Ростелеком | Март 2018 | 3.5 ГГц | 3CC (20+20+15)- 55 МГц (15 МГц в диапазоне 1800), модуляция 256QAM | 550 МБит/с | Потоковое видео |
| ПАО Ростелеком Huawei и «Таттелеком» | Май 2018 Иннополис | 3,4-3,8 ГГц | 3 CC (20+20+20) - 60 МГц (20 МГц в диапазоне 2600), 256QAM, Massive MIMO 64x64 | 2 Гбит/с | потоковое видео в формате 4К |

Источник: Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Айтмагамбетов А.З. Сети мобильной связи 5G: Перспективы создания и развития / Алматы, Казахстан: Из-во "Ак-Шагыл", 2019. – 348 с. [48].