

ОТЧЕТ
“КОНЦЕПЦИЯ СЕТИ 2030”

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ направлений развития сетей связи с учетом развития интернета вещей и умных городов.	6
1.1 Основные положения по анализу развития сетей связи.	6
1.2 Сверхплотные сети.	6
1.3 Сети связи с ультра малыми задержками.	7
1.4 Решения по построению сетей связи с ультра малыми задержками.	7
2 Прогнозы внедрения интернета вещей на 2023 и 2030 годы для типовых городских и сельских поселений.....	8
2.1 Анализ тенденций развития Интернета вещей в мире	8
2.2 Анализ тенденций развития Интернета вещей в России	15
2.2.1 Прогноз развития ИВ в России	15
2.2.2. Особенности условий развития ИВ в России	16
2.2.3. Особенности распределения населенных пунктов в России	19
2.3 Прогнозы внедрения Интернета вещей на 2023 и 2030 годы для типовых городских поселений	23
2.4 Прогнозы внедрения Интернета вещей на 2023 и 2030 годы для типовых сельских поселений	30
3 Прогнозы внедрения “умных городов” в типовых городских поселениях	39
3.1 Развитие «умных городов» в мире	39
3.2 Анализ особенностей распределения населения России по типам населенных пунктов	41
3.3 Прогнозы внедрения «умных городов» в типовых городских поселениях.....	43
4 Оценка перспектив внедрения концепции тактильного интернета и прогноз развития тактильного интернета до 2030 года	48
4.1 Анализ развития тактильного Интернета в мире.....	48
4.2 Оценка перспектив внедрения концепции Тактильного интернета	48
4.3 Прогноз развития Тактильного Интернета до 2030 года.....	49
5 Прогноз по децентрализации сети и размещению центров обработки данных.	52
6 Концепция сети 2030.....	55
6.1 Телеприсутствие. Персонализация сети.	55
6.2 Наносети.....	56
6.3 Летающие сети.....	56
6.4 Новые технологии для сетей связи 2030.	57
Заключение	59
Литература.....	62

Перечень рисунков и таблиц

Таблицы

Таблица 2.1. Прогноз количества подключений M2M устройств в мире.....	10
Таблица 2.2. Данные прироста устройств M2M по секторам.....	12
Таблица 2.3. Прогноз распределения устройств ИВ по приложениям.....	13
Таблица 2.4. Прогноз коэффициентов распределения количества подключений по наиболее востребованным областям применения ИВ (сегментам)	14

Таблица 2.5. Прогноз количества подключений М2М и общего количества устройств ИВ в России	16
Таблица 2.6. Степень значимости секторов внедрения ИВ	19
Таблица 2.7. Количество населенных пунктов в России по типам.....	20
Таблица 2.8. Распределение городских населенных пунктов по численности населения..	21
Таблица 2.9. Распределение сельских населенных пунктов по численности населения....	22
Таблица 2.10. Прогноз развития ИВ в типовых городских населенных пунктах.....	23
Таблица 2.11. Прогноз развития ИВ по секторам в Москве (количество ИВ на одного жителя).....	24
Таблица 2.12. Прогноз развития ИВ по секторам в Санкт-Петербурге (количество ИВ на одного жителя).....	25
Таблица 2.13. Прогноз развития ИВ по секторам в городах с численностью населения более 250 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).....	27
Таблица 2.14. Прогноз развития ив по секторам в городах с численностью населения от 50 до 250 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).....	28
Таблица 2.15. Прогноз развития ИВ по секторам в городах с численностью населения от 3 до 50 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).....	29
Таблица 2.16. Прогноз развития ИВ в типовых сельских населенных пунктах	30
Таблица 2.17. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 10 до 20 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).....	33
Таблица 2.18. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 3 до 10 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).....	34
Таблица 2.19. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 1 до 3 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).....	36
Таблица 2.20. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения менее 1 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).....	37
Таблица 3.1. Количество населенных пунктов в России по типам.....	42
Таблица 3.2. Распределение городского населения по городским населенным пунктам различного типа	42
Таблица 3.3. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения более 3 млн. человек	44
Таблица 3.4. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 250 тыс. До 3 млн. человек.....	45
Таблица 3.5. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 50 тыс. До 250 тыс. человек.....	46
Таблица 3.6. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения до 50 тыс. человек	47
Таблица 4.1. Прогноз доступности услуг ти в мире.....	49
Таблица 4.2. Прогноз доступности услуг ти в России	51

Рисунки

Рисунок 2.1 – Прогноз роста количества подключений М2М устройств в мире	10
рисунок 2.2 – Средний прирост количества подключений М2М устройств по наиболее востребованным областям применения	11
рисунок 2.3 – Прогноз распределения элементов ив в части технологий М2М по наиболее востребованным сегментам.....	12
рисунок 2.4 – Прогноз коэффициентов распределения количества подключений по наиболее востребованным областям применения ИВ (сегментам)	14

рисунок 2.5 – Прогноз роста количества интернет вещей, в том числе M2M устройств, в России	15
рисунок 2.6 – Прогноз распределения ИВ по секторам в городах	17
рисунок 2.7 – Прогноз распределения ИВ по секторам в поселках городского типа	18
рисунок 2.8 – Прогноз распределения ИВ по секторам в поселках сельского типа	18
рисунок 2.9 – Распределение населенных пунктов по типам (логарифмический масштаб)	20
рисунок 2.10 – Распределение городских населенных пунктов по численности населения	21
рисунок 2.11 – Распределение сельских населенных пунктов по численности населения	22
рисунок 2.12 – Прогноз роста количества ИВ в Москве по различным секторам	24
рисунок 2.13 – Прогноз роста количества ИВ в Санкт-Петербурге по различным секторам	25
рисунок 2.14 – Прогноз роста количества ИВ в городах с численностью населения более 250 тыс. человек	26
рисунок 2.15 – Прогноз роста количества ИВ в городах с численностью населения от 50 до 250 тыс. человек	28
рисунок 2.16 – Прогноз роста количества ИВ в городах с численностью населения от 3 до 50 тыс. человек	29
рисунок 2.16 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения более 20 тыс. человек	31
рисунок 2.17 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения от 10 до 20 тыс. человек	33
рисунок 2.18 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения от 3 до 10 тыс. человек	34
рисунок 2.19 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения от 1 до 3 тыс. человек	35
рисунок 2.20 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения менее 1 тыс. человек	37
рисунок 3.1 – Распределение городского населения по городским населенным пунктам различного типа	42
рисунок 3.2 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения более 3 млн. человек	44
рисунок 3.3 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 250 тыс. До 3 млн. человек	45
рисунок 3.4 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 50 тыс. До 250 тыс. человек	46
рисунок 3.5 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения до 50 тыс.	47
рисунок 4.1 – Прогноз доступности услуг ИТ в мире	49
рисунок 4.2 – Прогноз доступности услуг ИТ в мире и России	50
рисунок 5.1 – Пример кластеризации сети при предоставлении услуг тактильного интернета по критерию расстояния	53
рисунок 5.2 – Пример кластеризации сети при предоставлении услуг тактильного интернета по критерию расстояния (Московская область)	53
рисунок 5.3 – Пример кластеризации сети при предоставлении услуг тактильного интернета по критерию расстояния (Пермский край)	54
рисунок 6.1 – Взаимодействия с аватарами в сети связи в 2030 году	56
рисунок 6.2 – Сеть связи с ультра малыми задержками в 2030 году	57

Введение

В отчете представлены результаты анализа направлений развития телекоммуникационных сетей с учетом развития Интернета Вещей и «умных» городов с учетом публикаций МСЭ-D, рекомендаций МСЭ-T и других лучших практик, представленных в научных журналах и конференциях за последние 5 лет, и прогнозы развития технологий Интернета вещей (ИВ), внедрения «умных городов» и тактильного Интернета (ТИ) на среднесрочный период до 2023 и долгосрочный период до 2030 года.

Кроме того, в отчете проанализированы последствия внедрения сетей связи с ультра малыми задержками на основе услуг Тактильного Интернета и определена тенденция развития сетей связи в направлении децентрализации. При этом отмечается, что внедрение сетей подобного типа будет способствовать стиранию граней цифрового развития как между отдельными территориями, так и странами.

В заключительной главе отчета сформулированы основные положения по сетям связи 2030.

1 Анализ направлений развития сетей связи с учетом развития Интернета Вещей и умных городов.

1.1 Основные положения по анализу развития сетей связи.

Развитие сетей связи в первом и втором десятилетиях 21 века происходит на фоне глобальных изменений в технологиях телекоммуникаций, которые оказывают нетривиальное воздействие и на архитектуру сетей связи, и на основные показатели функционирования сетей связи. Речь идет, прежде всего, о сверхплотных сетях и сетях связи с ультра малыми задержками [1,2]. Первые из них обязаны своим появлением концепции Интернета Вещей [3], а вторые – концепции Тактильного Интернета [4]. Совместное использование этих концепций лежит в основе появления не только сетей связи пятого поколения, но и концепции сетей связи 2030 [5,6]. Проанализируем далее основные направления развития сетей связи с учетом развития Интернета Вещей и умных городов на среднесрочную до 2023 и долгосрочную до 2030 года перспективы.

1.2 Сверхплотные сети.

Концепция Интернета Вещей, лидирующая в области сетей и систем связи по сей день, привела и к появлению сетей связи пятого поколения, и к созданию сверх плотных сетей связи. Сверхплотность является одним из признаков не только сетей 5G/IMT-2020, но и всех последующих. Действительно, требование 3GPP по обеспечению необходимого уровня качества обслуживания и качества восприятия при размещении 1млн терминалов на 1 кв. км [7] принципиально отличается от характеристик плотности сетей, существовавших до настоящего времени. Весьма сложно представить на 1кв.км миллион человек (по одному человеку на 1 кв. м), в то время как 1 млн устройств на 1 кв. км в общем-то и не предел. Поэтому, понятие сверх плотных сетей будет существовать еще достаточно долго.

Свойство сверх плотности приводит к пониманию того факта, что установление соединений для столь близко расположенных устройств с использованием централизованных элементов сети, в том числе базовой станции, является нерациональным по отношению к ограниченным (в любом случае) ресурсам сети. Появляется технология взаимодействия устройство-устройство D2D (Device-to-Device) [8,9] без использования базовой станции для реализации услуг для Интернета вещей, сегодня рассматриваемая как перспективная и при взаимодействии пользователь-пользователь. При этом доля трафика, замыкающегося внутри технологий D2D, может составлять десятки процентов.

В сверхплотной сети существенное значение при построении сетевой архитектуры играет кластеризация, применяемая во многих задачах по анализу и синтезу в условиях наличия большого и очень большого числа элементов системы. В области кластеризации в сетях связи имеется значительный задел, полученный в исследовательских работах по построению беспроводных сенсорных сетей [10,11,12].

Взаимодействия D2D будут играть важнейшую роль уже в среднесрочной перспективе развития сетей связи до 2023 года.

1.3 Сети связи с ультра малыми задержками.

Сети связи с ультра малыми задержками обязаны своему появлению концепции Тактильного Интернета. Концепция Тактильного Интернета впервые была изложена в докладе Сектора стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ-Т), подготовленном под руководством профессора Фетвайса из университета Дрездена [13]. Основное предназначение Тактильного Интернета заключалось в возможности и необходимости передачи по сети тактильных ощущений, что должно было бы потребоваться, в первую очередь, в сетях связи пятого поколения при взаимодействии человека и робота [14]. Казалось бы, не самая сложная задача привела к формированию требования, коренным образом воздействовавшего на архитектуру сети в целом. Речь идет, конечно же, о круговой задержке в 1мс, что в 100 раз меньше, чем в существующих сетях связи.

К настоящему времени сформирована концепция Тактильного Интернета для сетей связи [4,15], предложены новые архитектурные решения по построению сети [16,17], разработан современный инструментарий для тестирования и верификации решений в области Тактильного Интернета [18,19] и, самое важное, выявлены тенденции к децентрализации сети и предпосылки к децентрализации экономики в целом [20]. Вместе с тем, как это будет показано в отчете, широкомасштабное внедрение услуг Тактильного Интернета следует ожидать после 2025 года, хотя к 2030 году их доступность в России может достигнуть почти 40% (раздел 5 отчета).

Тактильный Интернет явился основной для появления новых сетей связи – сверх высоконадежных сетей связи с ультра малыми задержками uRLLC (ultra Reliable Low Latency Telecommunications) [21]. В части параметров надежности, рекомендуемые в научно-исследовательских работах [22] величины существенно отличаются от требований к коэффициенту готовности ССОП, а именно: 0,999999. В работе [23] по сетям 2030 речь идет о недоступности сети в течение 4мс в сутки. Все это потребует пересмотра требований по надежности сетей связи.

1.4 Решения по построению сетей связи с ультра малыми задержками.

Выше уже была рассмотрена технология взаимодействия D2D, которая позволяет эффективно построить сверхплотные сети. Для построения сетей связи с ультра малыми задержками большое значение приобретают технологии MEC (Mobile Edge Computing), программно-конфигурируемых сетях SDN (Software Defined Networks) и виртуализации сетевых функций NFV (Network Functions Virtualization).

Примером использования технологий граничных вычислений может служить многоуровневая архитектура граничных вычислений, отличающаяся от известных архитектур введением уровня мини-облака, располагаемого на уровне базовой станции сети. Кроме того, мини-облака базовых станций могут соединяться между собой по высокоскоростным оптическим трактам [16,24]. Это принципиальное решение не только географически приближает реализацию услуги к пользователю, но и разгружает базовую сеть. Масштабное моделирование подтвердило возможность оказания услуг Тактильного Интернета при использовании этой архитектуры с заданными значениями по величине задержки. Здесь снова уместно вспомнить одно из фундаментальных свойств сети – замыкание трафика для близлежащих пользователей, обеспечивающее разгрузку других элементов сети.

Что касается ядра сети, то в настоящее время ядро сети создается в соответствии с традиционными решениями по пакетному эволюционирующему ядру EPC (Evolved Packet Core). В работах [17,25] было предложено отказаться от этой концепции и вместо EPC использовать программно-конфигурируемые сети вкупе с виртуализацией сетевых функций. При этом обеспечиваются существенно лучшие характеристики сети, чем при использовании EPC, особенно в части значений задержек. Однако традиционная архитектура SDN с централизованным контроллером плохо масштабируема и, как любая архитектура типа “звезда”, ненадежна.

Поэтому появились предложения по использованию мульти контроллерной архитектуры SDN [26,27], а вместе с ней и задачи оптимизации такой мульти контроллерной сети, в первую очередь в части распределения и перераспределения в зависимости от обслуживаемого трафика множества коммутаторов по множеству контроллеров. При этом в работе [28] было предложено использовать для этих целей мета эвристические алгоритмы и доказано, что алгоритм хаотического роя сальп обеспечивает лучшие результаты, чем игровой алгоритм ненулевой суммы и роевые алгоритмы роя частиц и серого волка [28]. Такой инструментарий позволяет научно-обосновано планировать использование сетей SDN в качестве ядра сети.

Все рассмотренные в данном подразделе технологии найдут широкое применение на сетях связи уже к 2023 году, что обеспечит начало повсеместного внедрения сетей связи пятого поколения.

2 Прогнозы внедрения Интернета вещей на 2023 и 2030 годы для типовых городских и сельских поселений

2.1 Анализ тенденций развития Интернета вещей в мире

Развитие Интернета вещей (ИВ) является одним из основных процессов информатизации общества. ИВ позволяет расширить информационное пространство включая в него данные о состоянии любых физических и виртуальных объектов. Практически, ИВ охватывает все больше предметных областей по мере появления потребности и средств получения и доставки информации.

До настоящего времени определился ряд приложений ИВ, которые наиболее востребованы. Это приложения в таких областях деятельности как:

- транспорт,
- городская инфраструктура,
- энергетика,
- медицина,
- дом,
- офис,
- производство и поставка товаров,
- розничная торговля.

В каждой из этих областей возможно множество приложений, предназначенных для решения конкретных задач.

Например, в области транспорта возможны такие приложения как: мониторинг положения (координат) транспортного средства, контроль и управление доступом, мониторинг технического состояния, управление параметрами и др. Такие приложения могут использоваться для общественного транспорта, личного автотранспорта, автотранспортных предприятий, железнодорожного транспорта и других. Например, в области воздушного автотранспорта, широко известно и популярно такое приложение как flightradar24, позволяющее отслеживать текущее положения воздушных судов.

В городской инфраструктуре применение средств IoT может быть весьма разнообразным, например, это контроль состояния окружающей среды (содержание опасных газов в атмосфере, температура воздуха, радиационный фон, уровень воды в водоемах, скорость ветра и пр.), контроль состояния зданий и сооружений (мониторинг целостности и микро перемещений в несущих элементах зданий, мостов, тоннелей и других сооружений), мониторинг потоков автотранспорта и пешеходов в целях управления трафиком, обеспечение контроля доступа и безопасности.

Использование ИВ в энергетике может быть разнообразным, в частности, его можно рассматривать как промышленный ИВ. Возможно использование ИВ в системах производства, преобразования и распределения электроэнергии в целях обеспечения наблюдения за состоянием энергетической системы. Ввиду значительных масштабов энергетической систем и сетей, а также значительного количества элементов этих систем, применение ИВ в них может иметь значительные масштабы. Элементы ИВ также широко применяются в системах учета потребления электроэнергии для автоматизации процессов сбора данных с приборов учета. Последнее можно также отнести к сфере ЖКХ, где производится учет различных показателей потребления.

В области медицины возможны приложения, позволяющие производить непрерывный мониторинг жизненно важных показателей организма человека (сердцебиение, температура и др.), как в пределах медицинского учреждения, так и удаленно при амбулаторном лечении. В быту получили широкое распространение так называемые фитнес-браслеты или «умные» часы, позволяющие получать сведения об активности человека и некоторых показателях состояния его организма.

В быту ИВ находит применение в составе бытовой техники, а также систем управления домашней бытовой автоматикой (освещение, отопление, уборка помещений, контроль состояния сантехники, контроль доступа, домашние животные и пр.). Данные подсистемы могут функционировать автономно, т.е. независимо друг от друга или совместно, под управлением единого контроллера, что получило название «умный дом». Широкое применение нашли приложения, отслеживающие координаты людей, личных автомобилей или домашних животных (трекеры).

В офисе элементы ИВ могут применяться как элементы мониторинга местонахождения сотрудников, документов, корреспонденции и других элементов, вовлеченных в деятельность организации, как элементы учета посетителей и клиентов, элементы системы контроля доступа в помещение или на объекты, размещенные на контролируемой территории.

В области производства и поставки товаров элементы ИВ получили распространение в виде различного рода идентификаторов (Bar коды, QR коды, RFID метки и др.). Данные элементы могут не иметь доступа к сети, как отдельного устройства (узла сети), но в некотором сетевом хранилище имеются соответствующие описания, т.е. данные,

позволяющие идентифицировать эти объекты, в том числе, с использованием технических средств (считыватели кодов, RFID меток и др.). Наряду с этим могут использоваться и различного рода трекеры, позволяющие следить за перемещением товаров.

Производство, вообще, иногда рассматривается как отдельная обширная область применения ИВ – «индустриальный ИВ» (промышленный ИВ), в эту же область можно отнести и применения ИВ в аграрной и сельскохозяйственной областях. Специфика индустриального ИВ определяется спецификой соответствующей области применения.

В области розничной торговли получили распространение также указанные выше средства ИВ, в дополнение к ним распространены средства контроля за товарами, ценниками и другими элементами в торговых залах предприятий розничной торговли.

В настоящее время наиболее массовым сегментом ИВ является сегмент коммуникаций типа машина-машина (M2M). Именно этот сегмент создает наибольшее влияние на сети связи, из-за роста количества подключенных устройств и роста трафика, производимого этими устройствами.

На рисунке 2.1 приведены данные о росте количества M2M устройств, подключенных к сетям связи в мире (при построении прогноза использованы данные [29-37]).

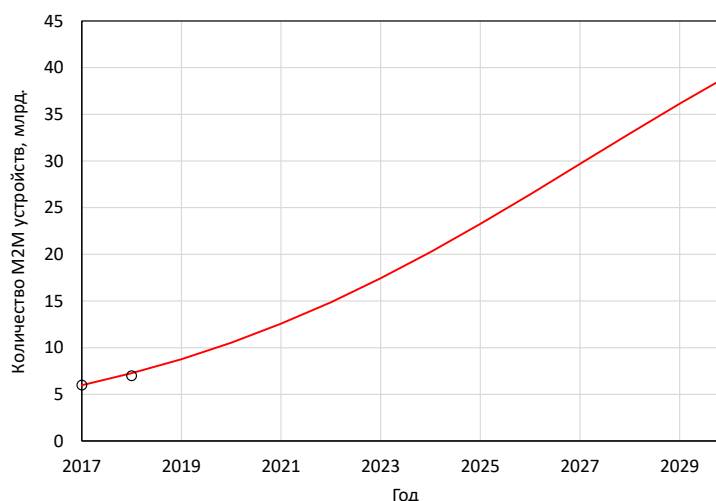


Рисунок 2.1 – Прогноз роста количества подключений M2M устройств в мире

Данные прогноза по годам приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Прогноз количества подключений M2M устройств в мире

Год	Количество подключений M2M устройств, млрд.
2016	4,91
2017	5,98
2018	7,26
2019	8,78

Год	Количество подключений M2M устройств, млрд.
2020	10,54
2021	12,56
2022	14,87
2023	17,43
2024	20,25
2025	23,26
2026	26,43
2027	29,68
2028	32,94
2029	36,13
2030	39,19

Скорость роста количества устройств по различным областям применения различна. На рисунке 2.2. и в таблице 2.2 приведены статистические данные о средней величине прироста количества подключений M2M устройств по наиболее востребованным областям применения.

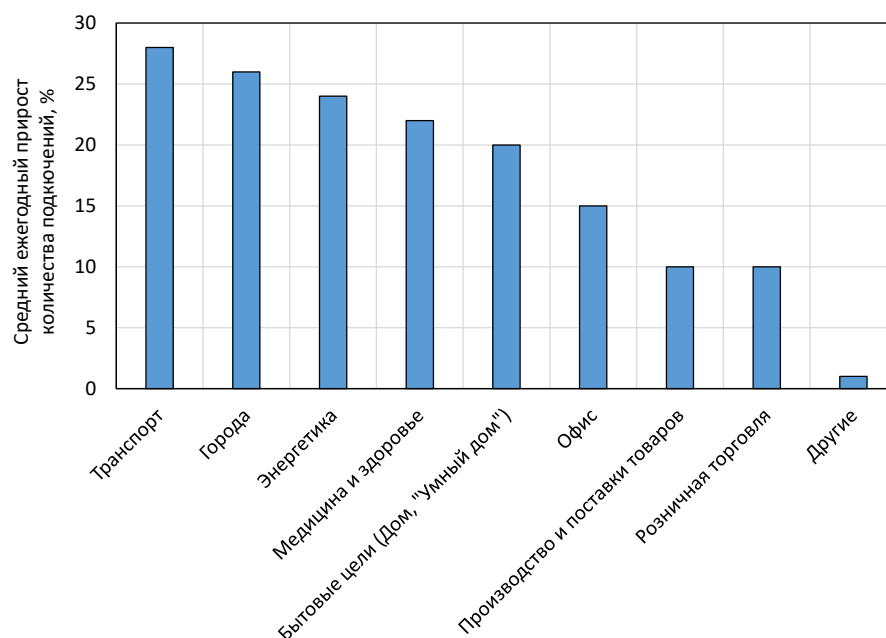


Рисунок 2.2 – Средний прирост количества подключений M2M устройств по наиболее востребованным областям применения

Таблица 2.2. Данные прироста устройств M2M по секторам

№	Сектор	Прирост %
1	Транспорт	28
2	Город	26
3	Энергетика	24
4	Медицина и здоровье	22
5	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	20
6	Офис	15
7	Производство и поставки товаров	10
8	Розничная торговля	10
9	Другие	1

Как видно из приведенных данных, наибольшая активность в настоящее время наблюдается в области транспорта, затем городской инфраструктуры, энергетики, медицины, быта, офиса, производства и доставки товаров, розничной торговли.

На рисунке 2.3 и в таблице 2.3 приведен прогноз компании Gartner [38] по распределению элементов Интернета Вещей в части технологий M2M по различным приложениям на 2020 год.

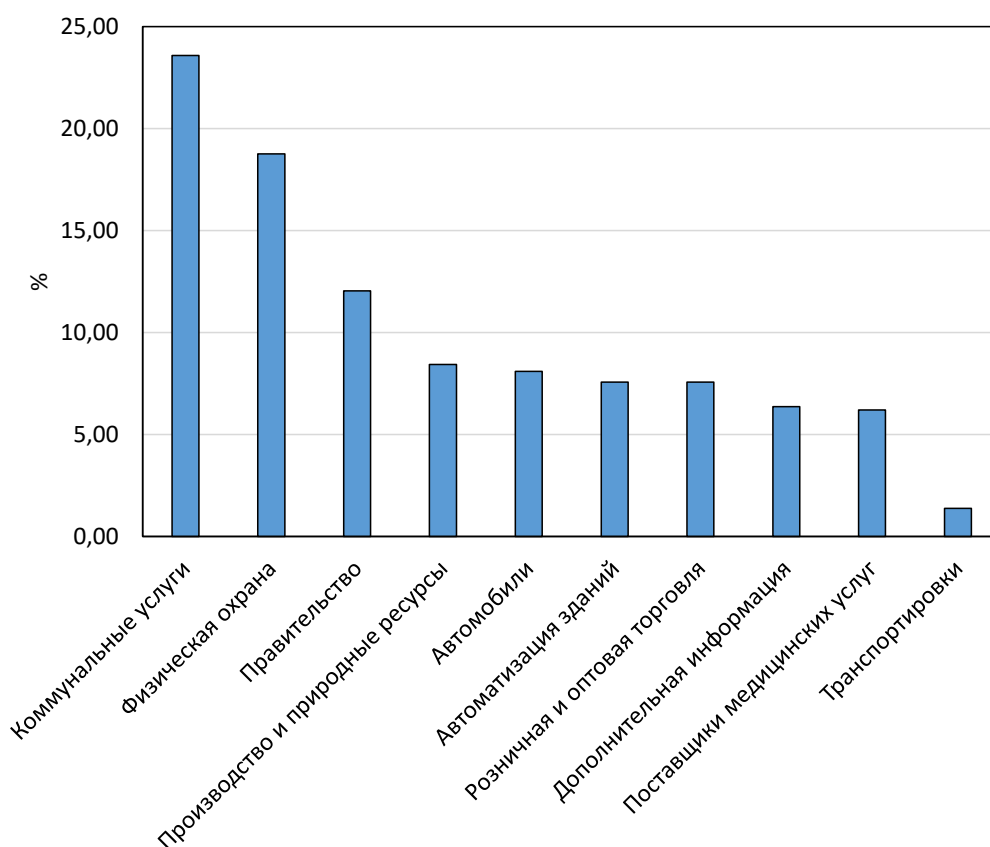


Рисунок 2.3 – Прогноз распределения элементов ИВ в части технологий M2M по наиболее востребованным сегментам

Таблица 2.3. Прогноз распределения устройств ИВ по приложениям

№	Сектор	Доля %
1	Коммунальные услуги	23,58
2	Физическая охрана	18,76
3	Правительство	12,05
4	Производство и природные ресурсы	8,43
5	Автомобили	8,09
6	Автоматизация зданий	7,57
7	Розничная и оптовая торговля	7,57
8	Дополнительная информация	6,37
9	Поставщики медицинских услуг	6,20
10	Транспортировки	1,38

Приведенные выше сегменты (области) применения ИВ и приложения несколько отличаются своими формулировками. Однако, и те, и другие возможно сгруппировать по тем областям применения, которые были определены в начале данного подраздела и совпадают с сегментами, приведенными в таблице 2.2.

На рисунке 2.4 и в таблице 2.4 приведены коэффициенты распределения количества подключений по наиболее востребованным областям применения ИВ (сегментам) на горизонте планирования до 2030 года. Это распределение получено комплексным методом прогнозирования, а именно, с учетом прогнозов авторитетных компаний производителей и аналитиков, а также с учетом экспертных оценок.

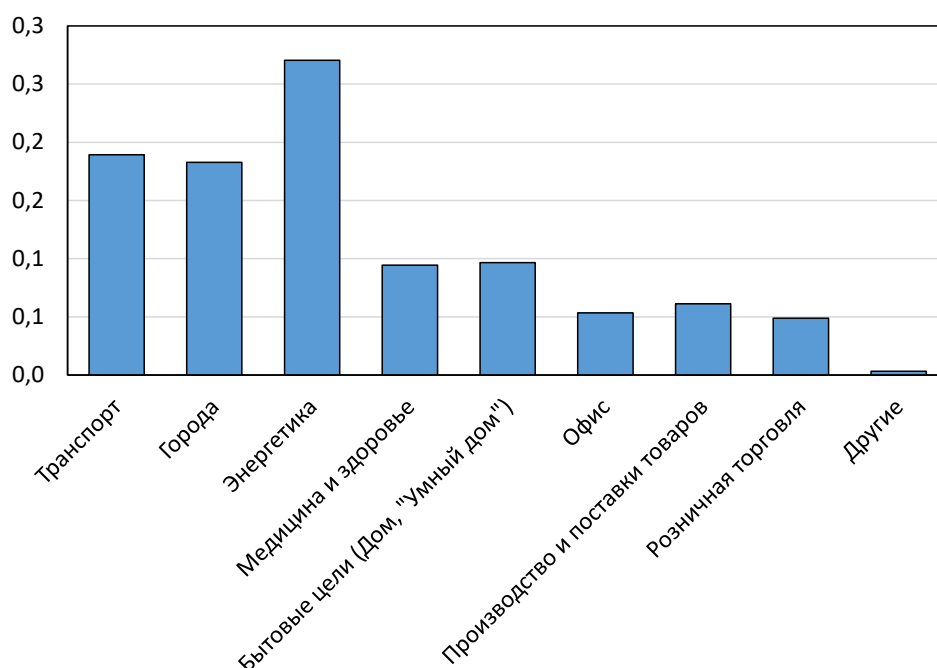


Рисунок 2.4 – Прогноз коэффициентов распределения количества подключений по наиболее востребованным областям применения ИВ (сегментам)

Таблица 2.4. Прогноз коэффициентов распределения количества подключений по наиболее востребованным областям применения ИВ (сегментам)

Сектор	Доля
Транспорт	0,189
Город	0,183
Энергетика	0,270
Медицина и здоровье	0,094
Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	0,097
Офис	0,053
Производство и поставки товаров	0,061
Розничная торговля	0,049
Другие	0,003

В соответствии с этим прогнозом наибольшая доля ИВ ожидается в секторе энергетики. Это объясняется прогнозами развития данного сектора, наличия разветвленной сети, включающей значительное количество элементов, а также наличием значительного количества приборов учета потребления электроэнергии, которые планируется включить в сеть. На втором месте транспорт, который занимает важнейшую роль в жизни городов, почти такую же долю занимает городская инфраструктура, которая, в свою очередь, существенно зависит от уровня городского поселения, численности населения, географического положения и др. Такие сектора, как медицина и здоровье, "Умный дом", офис, производство и поставки товаров, розничная торговля имеют достаточно близкие коэффициенты распределения.

2.2 Анализ тенденций развития Интернета вещей в России

2.2.1 Прогноз развития ИВ в России

Процесс развития ИВ в России схож с аналогичными процессами, происходящими в мире. Технологии ИВ востребованы в различной степени в различных областях применения, перечень которых был определен в п.2.1. Специфика условий развития ИВ в России может отражаться на динамике проникновения ИВ и степени развития различных секторов, что в определенной степени отличает процессы, характерные для России, от общемировых.

Степень значимости различных секторов проникновения ИВ зависит особенностей населенных пунктов. Факторами, влияющими на перераспределение технологий ИВ по секторам, являются: вид населенного пункта (городского типа или сельский), численность населения, особенности географического положения, степень развития дорожной сети, городской инфраструктуры и т.д. Будем полагать, что определяющими факторами являются вид населенного пункта и численность населения.

Прогноз роста количества подключений Интернет вещей, в том числе M2M устройств, в целом по России приведен на рисунке 2.5.

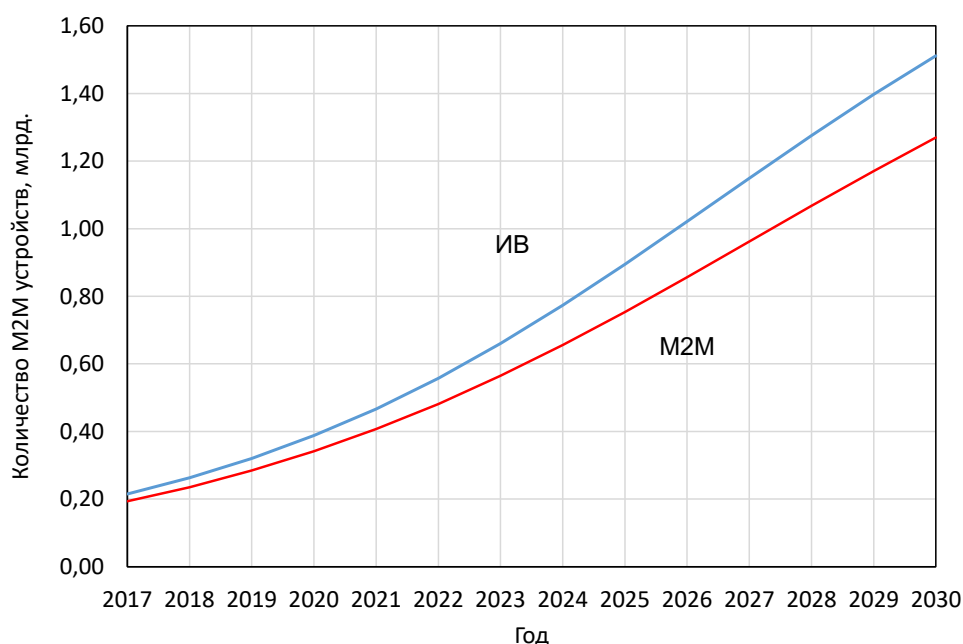


Рисунок 2.5 – Прогноз роста количества Интернет вещей, в том числе M2M устройств, в России

Данный прогноз получен комплексным методом, включающим в себя ассоциативный прогноз, полученный на основе анализа данных о развитии ИТ технологий в мире и России, а также учитывающий экспертные оценки.

Общее количество ИВ превышает количество M2M подключений за счет того, что ИВ считаются все вещи, которые могут быть идентифицированы, и данные, о которых теми или иными способами могут быть размещены в сети. Круг таких объектов может быть

гораздо шире, чем круг M2M устройств, которые оснащены собственными техническими средствами доступа в сеть.

Согласно данному прогнозу, уровень проникновения технологий M2M в России превышает средние значения в мире, в среднем за период прогнозирования, в 1,62 раза. Данные прогноза приведены в таблице 1.2.

Таблица 2.5. Прогноз количества подключений M2M и общего количества устройств ИВ в России

Год	Количество подключений M2M устройств, млрд.	Количество устройств Интернета вещей, млрд.
2017	0,19	0,22
2018	0,24	0,26
2019	0,28	0,32
2020	0,34	0,39
2021	0,41	0,47
2022	0,48	0,56
2023	0,56	0,66
2024	0,66	0,77
2025	0,75	0,89
2026	0,86	1,02
2027	0,96	1,15
2028	1,07	1,28
2029	1,17	1,40
2030	1,27	1,51

2.2.2. Особенности условий развития ИВ в России

На характер развития ИВ как в России, так и в любом регионе мира существенно влияет множество факторов, связанных: с географическими особенностями местности, численностью и плотностью населения, особенностями местной промышленности и хозяйственной деятельности, наличием и развитием городской инфраструктуры, сети автомобильных дорог, особенностями развития IT инфраструктуры и другими.

Внедрение ИВ, в общем случае, может иметь место на любых территориях или акваториях, однако, в данном прогнозе будем полагать, что за рассматриваемый период (т.е. до 2030 года), существенное развитие ИВ будет происходить в регионах с

относительно высокой плотностью населения, т.е. в населенных пунктах. Поэтому дальнейший анализ и результаты прогнозирования будут получены именно для условий размещения элементов ИВ в населенных пунктах.

В соответствии с [39] в России существует 174926 населенных пунктов, в том числе без населения 19416. Основными типами населенных пунктов являются: города, поселки городского типа и сельские населенные пункты.

Оценим особенности данных типов населенных пунктов с точки зрения значимости рассматриваемых секторов приложений ИВ. На рисунках 2.6-2.8 приведены результаты прогноза распределения устройств ИВ на горизонте планирования до 2030 года в городах, поселениях городского типа и поселениях сельского типа, соответственно.

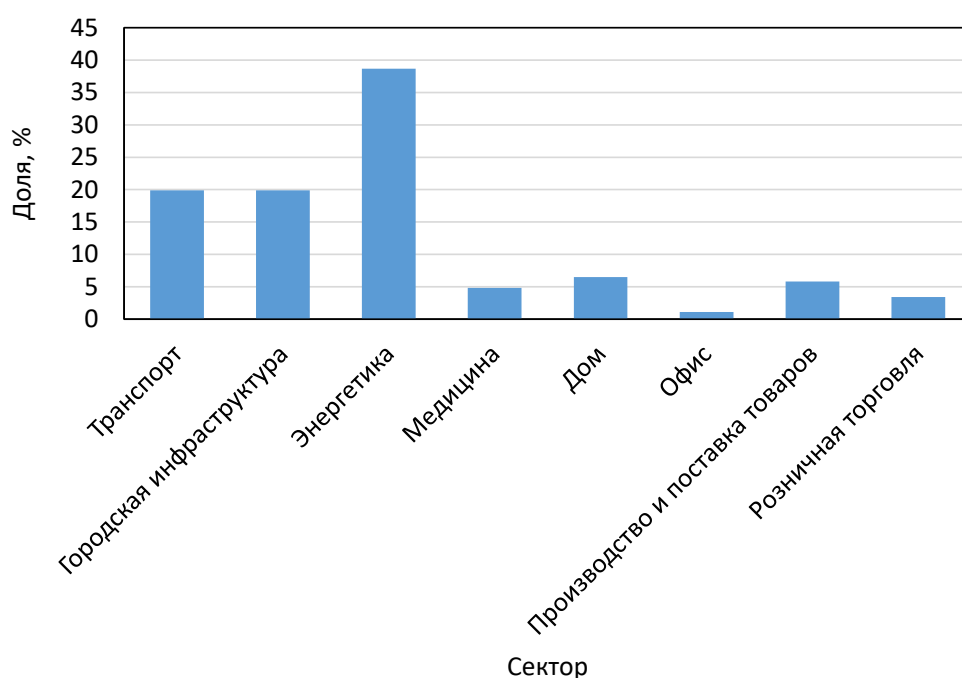


Рисунок 2.6 – Прогноз распределения ИВ по секторам в городах

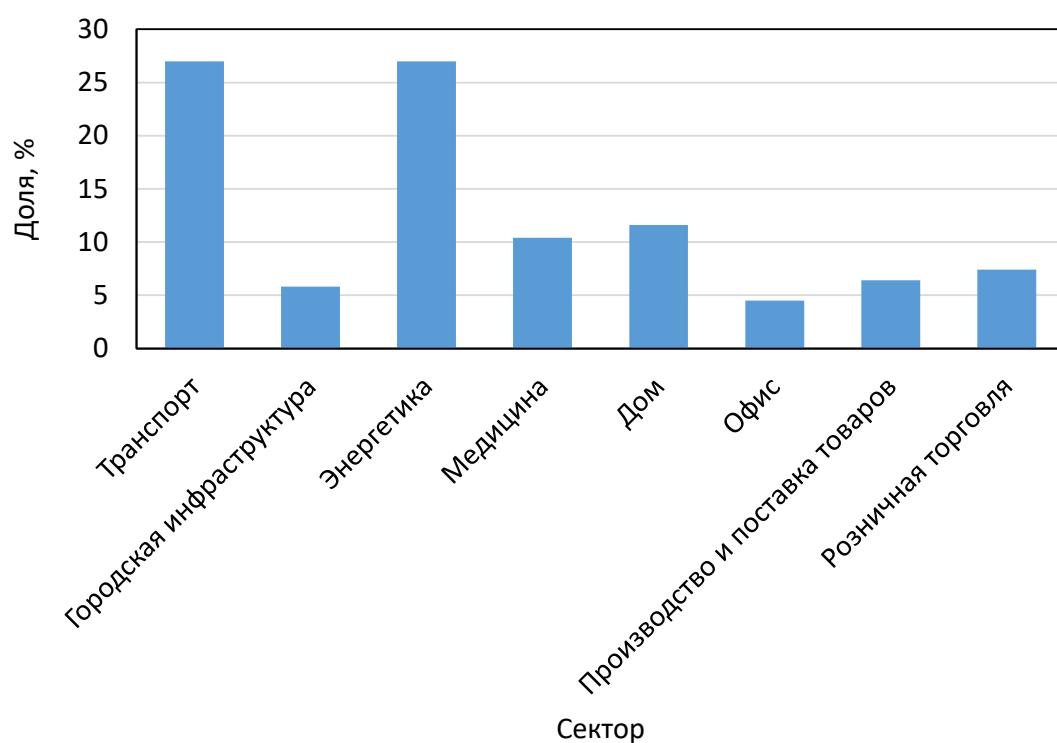


Рисунок 2.7 – Прогноз распределения ИВ по секторам в поселках городского типа

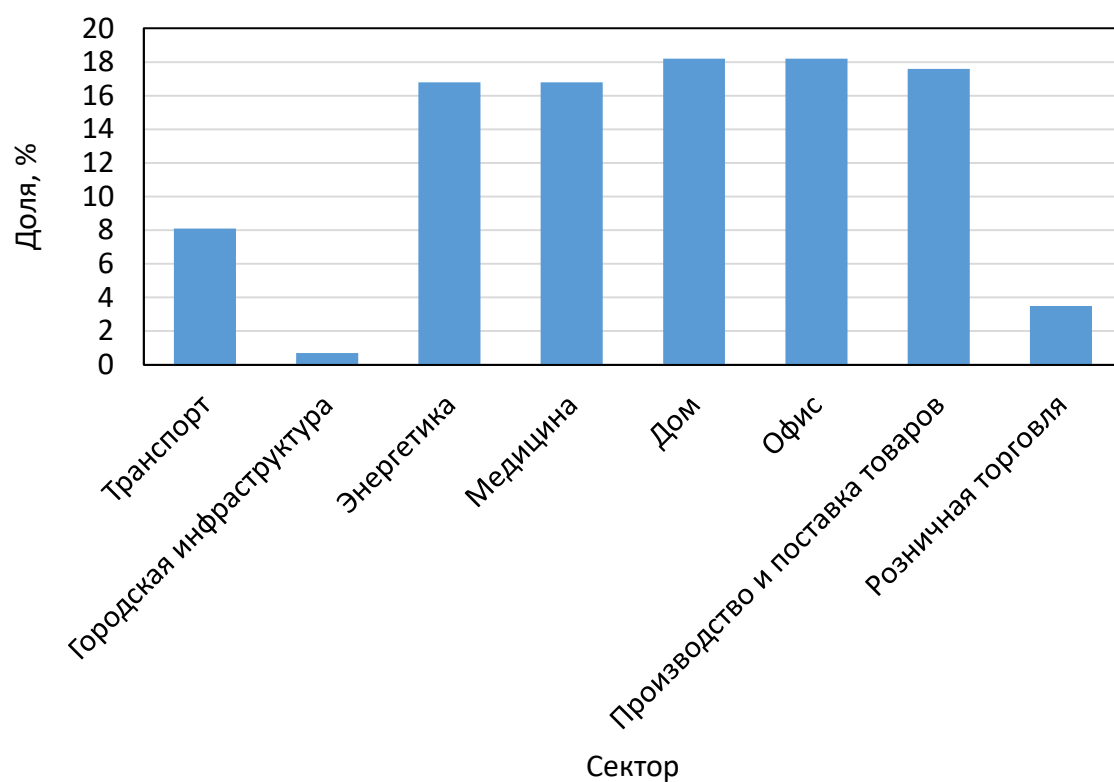


Рисунок 2.8 – Прогноз распределения ИВ по секторам в поселках сельского типа

В таблице 2.6 приведены рейтинговые оценки степени значимости различных секторов. Оценки получены методом парных сравнений (экспертные оценки).

Таблица 2.6. Степень значимости секторов внедрения ИВ

Сектор	Степень значимости		
	Город	Поселок городского типа	Сельские населенные пункты
Транспорт	0,199	0,270	0,081
Инфраструктура	0,199	0,058	0,007
Энергетика	0,387	0,270	0,168
Медицина	0,048	0,104	0,168
Дом	0,065	0,116	0,182
Офис	0,011	0,045	0,182
Производство и поставка товаров	0,058	0,064	0,176
Розничная торговля	0,034	0,074	0,035

В городах, в соответствии с данным прогнозом будут доминировать приложения ИВ в части энергетики, транспорта и городской инфраструктуры. Наибольшая доля ИВ приходится на энергетический сектор, что обусловлено его значимостью для городов, разветвленной структурой сетей распределения электроэнергии и значительным количеством приборов учета.

В поселках городского типа будут доминировать приложения ИВ в части транспорта, энергетики и умного дома. Наибольшая доля ИВ приходится на транспортный сектор, что обусловлено его значимостью для данного рода поселений, жителям которых регулярно приходится пользоваться личным или общественным транспортом и перемещаться на значительные расстояния в соседние города и населенные пункты.

В поселках сельского типа будут доминировать приложения ИВ в части транспорта, энергетики и умного дома. Наибольшая доля ИВ приходится на транспортный сектор, что обусловлено его значимостью для данного рода поселений, жителям которых регулярно приходится пользоваться личным или общественным транспортом и перемещаться на значительные расстояния в соседние города и населенные пункты.

2.2.3. Особенности распределения населенных пунктов в России

В соответствии с [39] количество населенных пунктов в России распределено следующим образом (рисунок 2.9 и таблица 2.7).

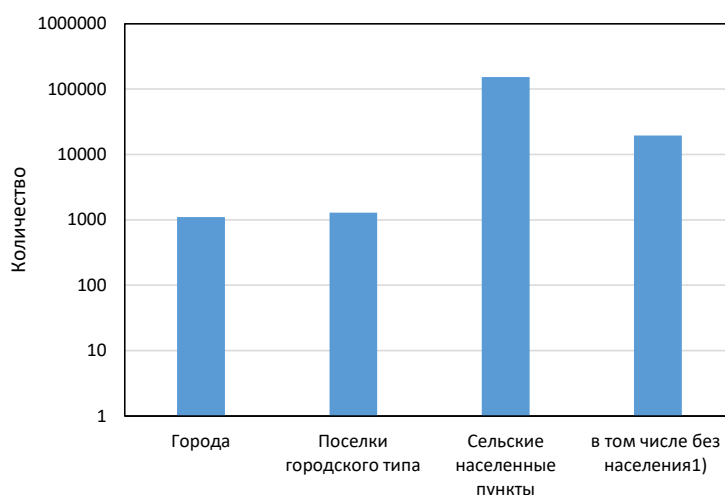


Рисунок 2.9 – Распределение населенных пунктов по типам (логарифмический масштаб)

Таблица 2.7. Количество населенных пунктов в России по типам

Вид населенного пункта	Количество
Города	1100
Поселки городского типа	1286
Сельские населенные пункты	153124
в том числе без населения	19416
Всего	174926

Наибольшее количество составляют населенные пункты сельского типа (153124). Наименьшее количество составляют города (1100). Количество поселков городского типа сопоставимо с количеством городов (1286).

В соответствии с [39] населенные пункты России классифицируются также по численности населения.

Распределение городских населенных пунктов по численности населения приведено на рисунке 2.10 и в таблице 2.8.

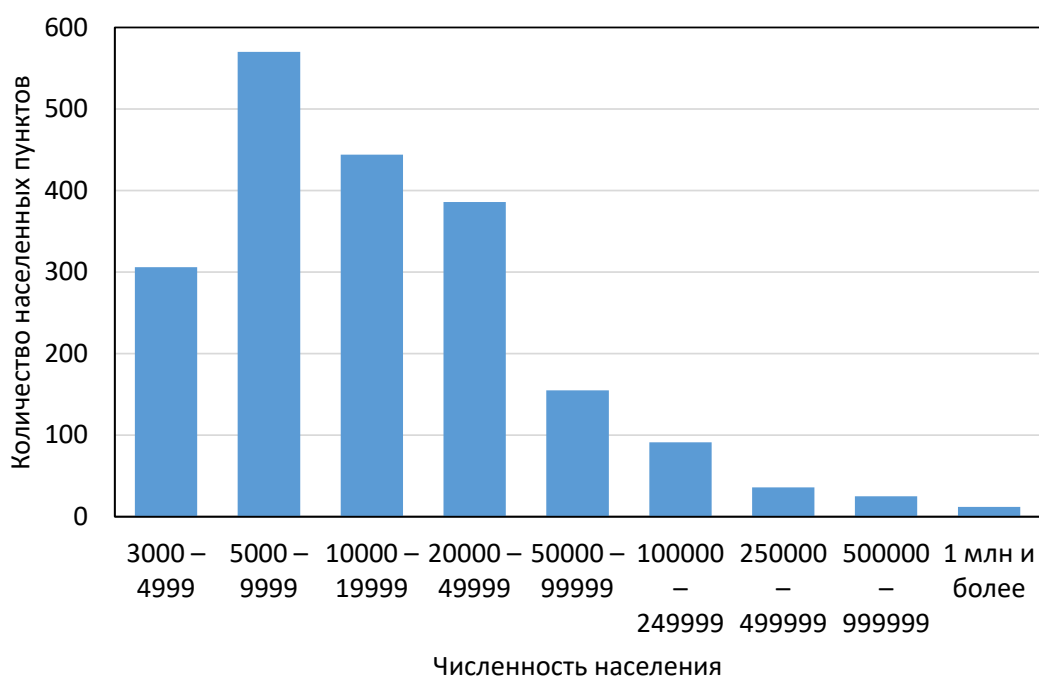


Рисунок 2.10 – Распределение городских населенных пунктов по численности населения

Таблица 2.8. Распределение городских населенных пунктов по численности населения

Численность населения	Количество населенных пунктов
3000 – 4999	306
5000 – 9999	570
10000 – 19999	444
20000 – 49999	386
50000 – 99999	155
100000 – 249999	91
250000 – 499999	36
500000 – 999999	25
1 млн и более	12

Распределение сельских населенных пунктов по численности населения приведено на рисунке 2.11 и в таблице 2.9.

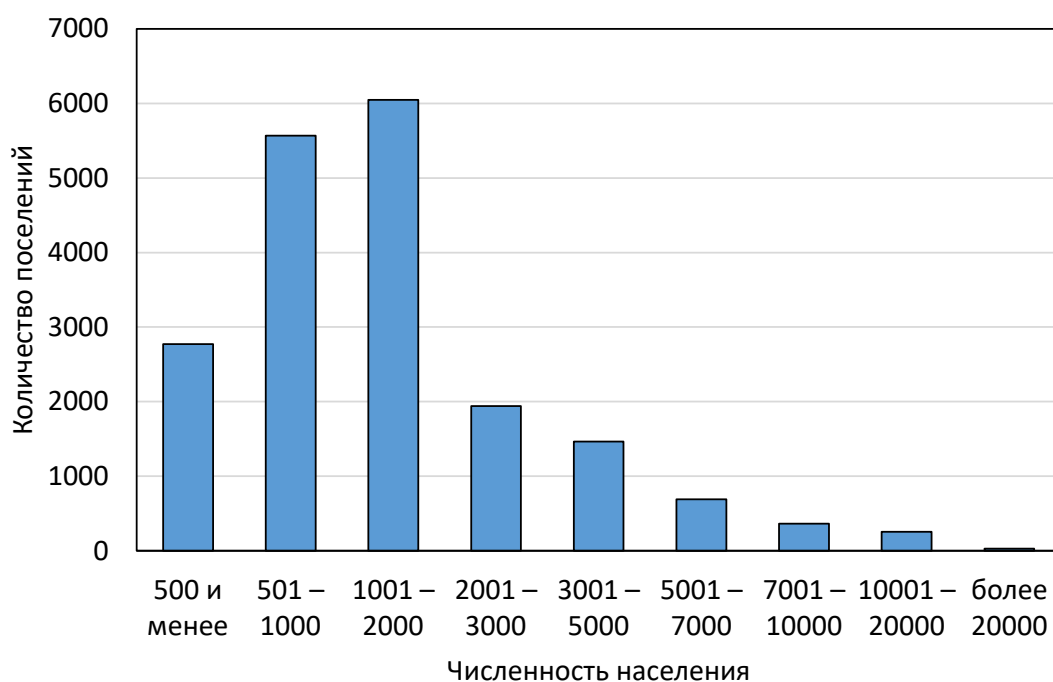


Рисунок 2.11 – Распределение сельских населенных пунктов по численности населения

Таблица 2.9. Распределение сельских населенных пунктов по численности населения

Численность населения	Количество населенных пунктов
500 и менее	2771
501 – 1000	5568
1001 – 2000	6049
2001 – 3000	1939
3001 – 5000	1464
5001 – 7000	690
7001 – 10000	362
10001 – 20000	256
более 20000	27

Наибольшее количество сельских населенных пунктов (6049) имеет численность населения от 1000 до 2000 человек. Наименьшее количество (27) составляют населенные пункты с численностью населения более 20000 человек.

2.3 Прогнозы внедрения Интернета вещей на 2023 и 2030 годы для типовых городских поселений

Прогноз распределения устройств ИВ по секторам на горизонте планирования до 2030 года для типовых городских населенных пунктов приведен в таблице 2.10.

Таблица 2.10. Прогноз развития ИВ в типовых городских населенных пунктах

	Москва	Санкт-петербург	500000 – 999999	250000 – 499999	100000 – 249999	50000 – 99999	20000 – 49999	10000 – 19999	5000 – 9999	3000 – 4999
	М	СПб	1	2	3					
Транспорт	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Города	0,20	0,19	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Энергетика	0,39	0,32	0,19	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15
Медицина и здоровье	0,05	0,07	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	0,07	0,08	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Офис	0,01	0,04	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
Производство и поставки товаров	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Розничная торговля	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Другие	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Из прогноза видно, что можно выделить 3 группы населенных пунктов городского типа и города Москва и Санкт-Петербург.

Это населенные пункты городского типа с численностью населения от 250 тыс. до 1 млн., от 50 тыс. до 250 тыс. и от 3 тыс. до 50 тыс. человек. Для этих групп населенных пунктов характерны равные значения коэффициентов распределения численности ИВ по секторам.

На рисунке 2.12 и в таблице 2.11 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в Москве, на период до 2030 года.

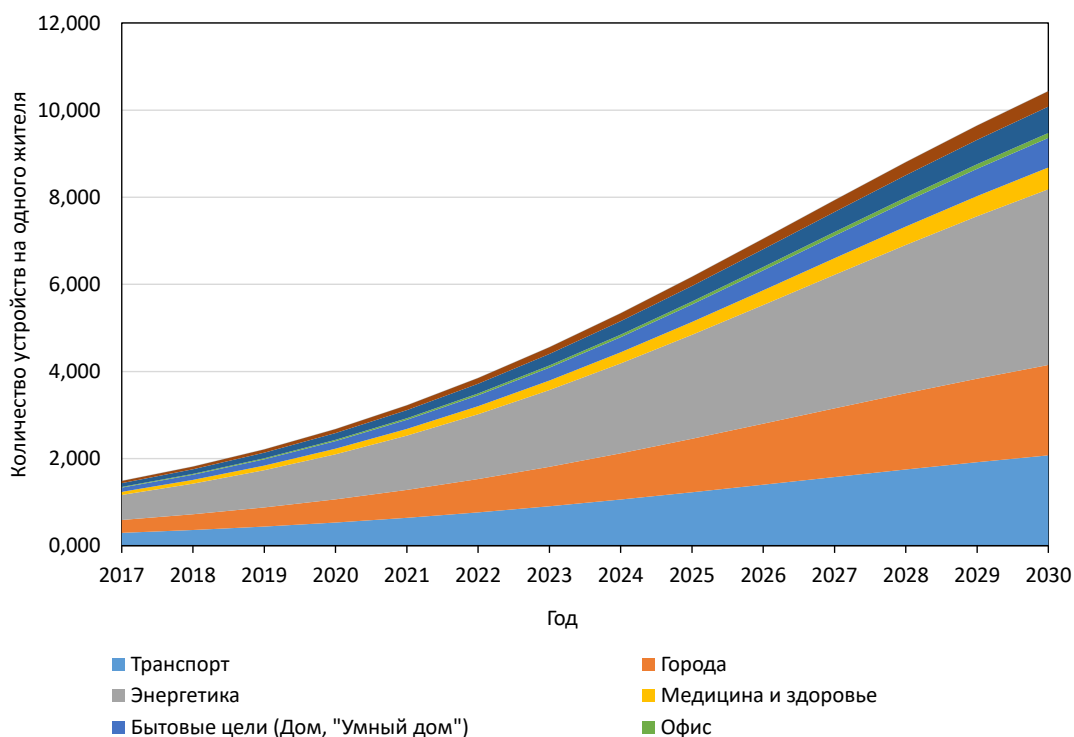


Рисунок 2.12 – Прогноз роста количества ИВ в Москве по различным секторам

Таблица 2.11. Прогноз развития ИВ по секторам в Москве (количество ИВ на одного жителя)

Год	Транспорт	Город	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,296	0,296	0,575	0,071	0,097	0,016	0,086	0,051
2018	0,361	0,361	0,702	0,087	0,118	0,020	0,105	0,062
2019	0,440	0,440	0,855	0,106	0,144	0,024	0,128	0,075
2020	0,532	0,532	1,035	0,128	0,174	0,029	0,155	0,091
2021	0,641	0,641	1,246	0,155	0,209	0,035	0,187	0,109
2022	0,765	0,765	1,488	0,185	0,250	0,042	0,223	0,131
2023	0,906	0,906	1,762	0,219	0,296	0,050	0,264	0,155
2024	1,061	1,061	2,063	0,256	0,347	0,059	0,309	0,181
2025	1,227	1,227	2,387	0,296	0,401	0,068	0,358	0,210
2026	1,401	1,401	2,725	0,338	0,458	0,077	0,408	0,239
2027	1,577	1,577	3,067	0,380	0,515	0,087	0,460	0,269
2028	1,751	1,751	3,404	0,422	0,572	0,097	0,510	0,299
2029	1,918	1,918	3,729	0,463	0,626	0,106	0,559	0,328
2030	2,075	2,075	4,035	0,500	0,678	0,115	0,605	0,354

На рисунке 2.13 и в таблице 2.12 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в Санкт-Петербурге, на период до 2030 года.

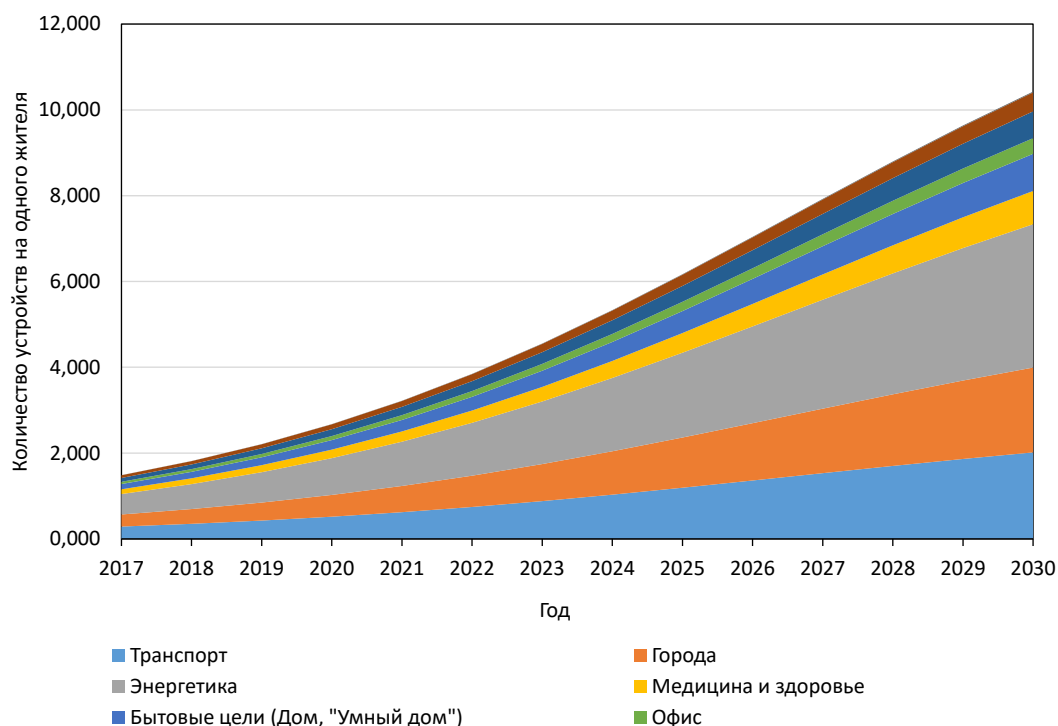


Рисунок 2.13– Прогноз роста количества ИВ в Санкт-Петербурге по различным секторам

Таблица 2.12. Прогноз развития ИВ по секторам в Санкт-Петербурге (количество ИВ на одного жителя)

Год	Транспорт	Город	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,287	0,282	0,476	0,111	0,123	0,052	0,089	0,063
2018	0,351	0,344	0,582	0,135	0,151	0,064	0,109	0,077
2019	0,427	0,419	0,708	0,164	0,183	0,077	0,132	0,094
2020	0,517	0,507	0,857	0,199	0,222	0,094	0,160	0,113
2021	0,622	0,611	1,032	0,240	0,267	0,113	0,193	0,136
2022	0,744	0,730	1,232	0,286	0,319	0,135	0,231	0,163
2023	0,880	0,864	1,459	0,339	0,378	0,160	0,273	0,193
2024	1,031	1,011	1,709	0,397	0,442	0,187	0,320	0,226
2025	1,193	1,170	1,977	0,459	0,512	0,216	0,370	0,261

Год	Транспорт	Город	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2026	1,361	1,335	2,256	0,524	0,584	0,247	0,422	0,298
2027	1,532	1,503	2,539	0,590	0,657	0,278	0,475	0,336
2028	1,701	1,669	2,819	0,655	0,730	0,309	0,527	0,372
2029	1,863	1,828	3,088	0,717	0,799	0,338	0,578	0,408
2030	2,016	1,978	3,341	0,776	0,865	0,366	0,625	0,441

На рисунке 2.14 и в таблице 2.13 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в городах с численностью населения от 250 тыс. и более человек, на период до 2030 года.

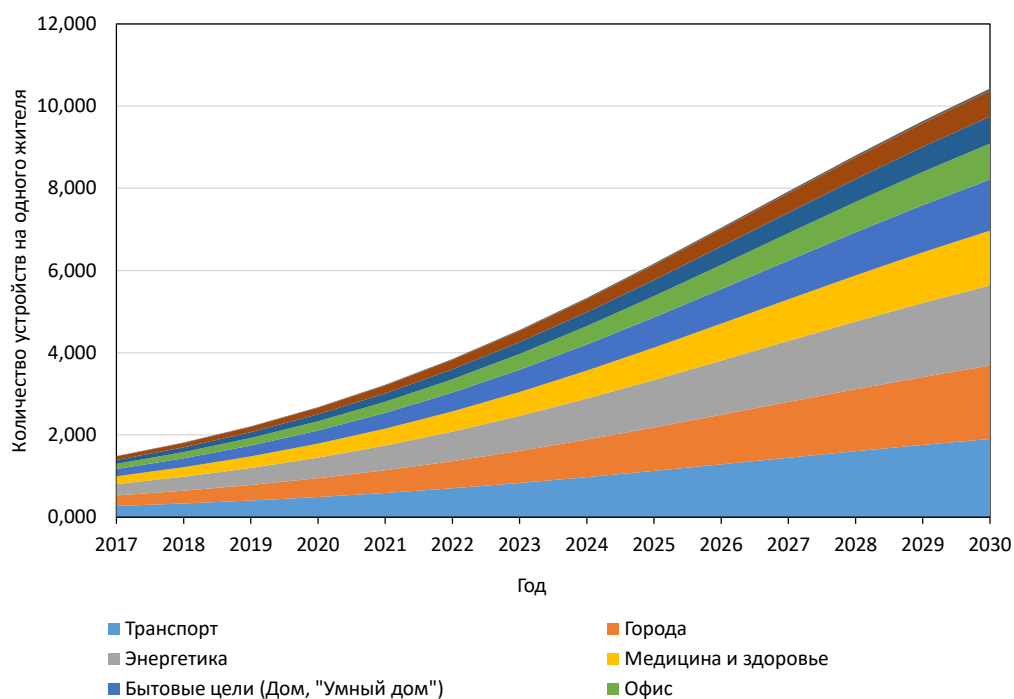


Рисунок 2.14 – Прогноз роста количества ИВ в городах с численностью населения более 250 тыс. человек.

Таблица 2.13. Прогноз развития ИВ по секторам в городах с численностью населения более 250 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).

Год	Транспорт	Город	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,271	0,254	0,278	0,190	0,177	0,125	0,094	0,089
2018	0,331	0,311	0,340	0,232	0,216	0,152	0,115	0,109
2019	0,403	0,378	0,413	0,282	0,263	0,186	0,140	0,132
2020	0,488	0,458	0,501	0,342	0,319	0,225	0,169	0,160
2021	0,587	0,551	0,603	0,411	0,384	0,270	0,204	0,193
2022	0,701	0,659	0,720	0,491	0,458	0,323	0,243	0,230
2023	0,830	0,780	0,852	0,582	0,543	0,382	0,288	0,272
2024	0,972	0,913	0,998	0,681	0,635	0,448	0,337	0,319
2025	1,124	1,057	1,154	0,788	0,735	0,518	0,390	0,369
2026	1,283	1,206	1,318	0,899	0,839	0,591	0,445	0,421
2027	1,444	1,357	1,483	1,012	0,944	0,666	0,501	0,474
2028	1,603	1,507	1,646	1,124	1,048	0,739	0,556	0,526
2029	1,756	1,651	1,803	1,231	1,148	0,809	0,609	0,576
2030	1,900	1,786	1,951	1,332	1,243	0,876	0,659	0,623

На рисунке 2.15 и в таблице 2.14 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в городах с численностью населения от 50 до 250 тыс. человек, на период до 2030 года.

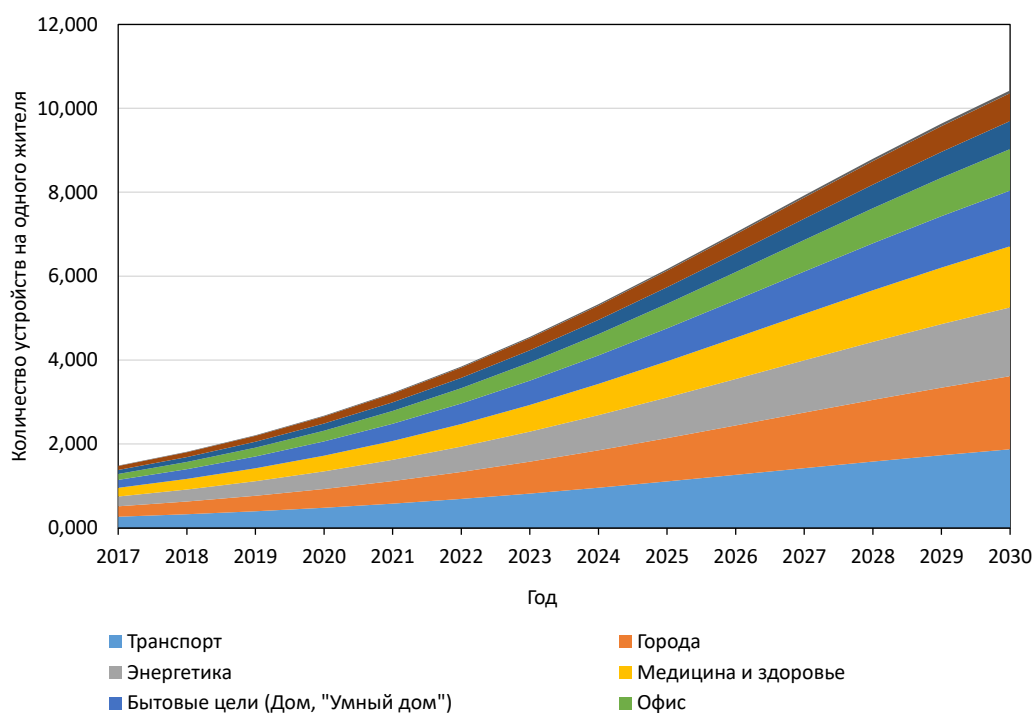


Рисунок 1.15 – Прогноз роста количества ИВ в городах с численностью населения от 50 до 250 тыс. человек.

Таблица 2.14. Прогноз развития ИВ по секторам в городах с численностью населения от 50 до 250 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).

Год	Транспорт	Город	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,267	0,248	0,233	0,208	0,189	0,141	0,095	0,095
2018	0,326	0,303	0,285	0,254	0,231	0,172	0,116	0,116
2019	0,397	0,369	0,347	0,309	0,281	0,210	0,141	0,141
2020	0,481	0,447	0,420	0,374	0,341	0,254	0,171	0,170
2021	0,579	0,538	0,506	0,450	0,410	0,306	0,206	0,205
2022	0,691	0,643	0,605	0,537	0,490	0,365	0,246	0,245
2023	0,818	0,761	0,716	0,636	0,580	0,432	0,291	0,290
2024	0,958	0,891	0,838	0,745	0,679	0,506	0,341	0,339
2025	1,109	1,031	0,969	0,862	0,785	0,586	0,395	0,393
2026	1,266	1,177	1,107	0,984	0,896	0,668	0,451	0,448
2027	1,425	1,324	1,246	1,107	1,009	0,752	0,507	0,505
2028	1,581	1,470	1,383	1,229	1,120	0,835	0,563	0,560
2029	1,732	1,610	1,515	1,346	1,227	0,915	0,617	0,614
2030	1,874	1,742	1,639	1,456	1,327	0,990	0,667	0,664

На рисунке 2.16 и в таблице 2.15 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в городах с численностью населения от 3 до 50 тыс. человек на период до 2030 года.

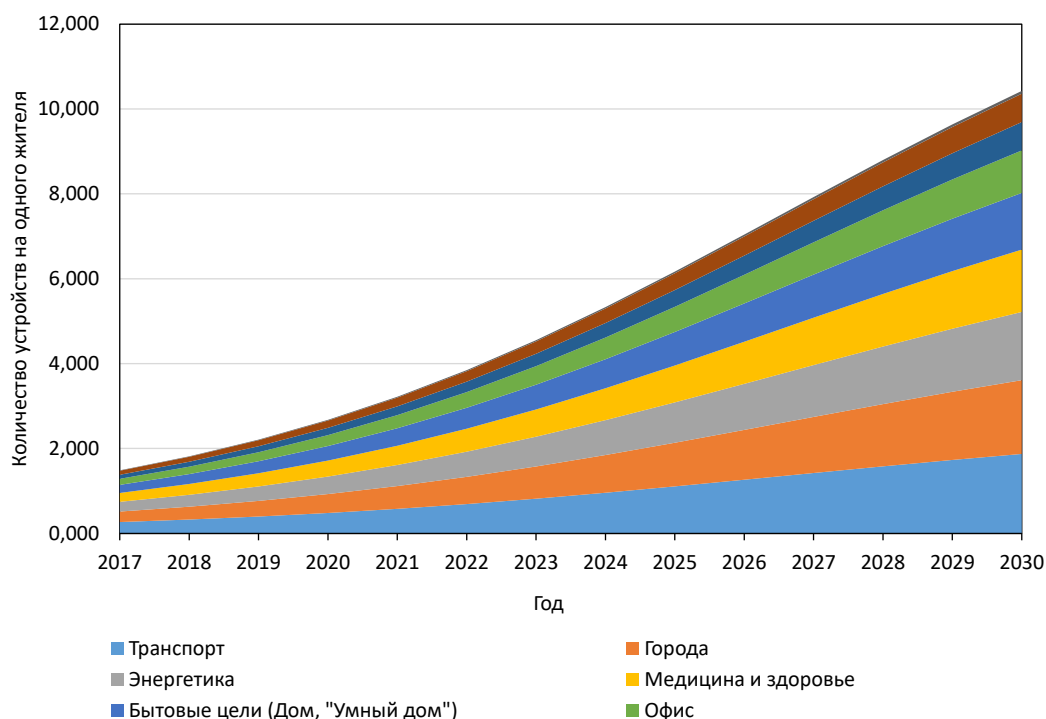


Рисунок 2.16 – Прогноз роста количества ИВ в городах с численностью населения от 3 до 50 тыс. человек.

Таблица 2.15. Прогноз развития ИВ по секторам в городах с численностью населения от 3 до 50 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя).

Год	Транспорт	Город	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,267	0,248	0,229	0,209	0,190	0,143	0,095	0,095
2018	0,326	0,303	0,280	0,256	0,233	0,174	0,116	0,116
2019	0,397	0,368	0,341	0,311	0,283	0,212	0,142	0,142
2020	0,480	0,446	0,412	0,377	0,343	0,257	0,171	0,171
2021	0,578	0,537	0,496	0,454	0,412	0,309	0,206	0,206
2022	0,690	0,641	0,593	0,542	0,493	0,369	0,247	0,246
2023	0,817	0,759	0,702	0,641	0,583	0,437	0,292	0,292
2024	0,957	0,889	0,822	0,751	0,683	0,512	0,342	0,342

Год	Транспорт	Город	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2025	1,107	1,028	0,951	0,869	0,790	0,592	0,395	0,395
2026	1,264	1,174	1,085	0,992	0,902	0,676	0,451	0,451
2027	1,423	1,321	1,222	1,117	1,015	0,761	0,508	0,508
2028	1,579	1,467	1,356	1,239	1,127	0,845	0,564	0,564
2029	1,730	1,606	1,486	1,358	1,235	0,925	0,618	0,617
2030	1,872	1,738	1,607	1,469	1,336	1,001	0,668	0,668

2.4 Прогнозы внедрения Интернета вещей на 2023 и 2030 годы для типовых сельских поселений

Прогноз распределения устройств ИВ по секторам для типовых сельских населенных пунктов приведен в таблице 2.16.

Примечание. В сельских населенных пунктах введен сектор «Инфраструктура поселения», который по смысловому значению аналогичен сектору «Город» для населенных пунктов городского типа и подразумевает использование ИВ в составе инфраструктуры поселения в целях ее мониторинга и управления.

Таблица 2.16. Прогноз развития ИВ в типовых сельских населенных пунктах

Сектор	Количество жителей								
	более 20000	10001 – 20000	7001 – 10000	5001 – 7000	3001 – 5000	2001 – 3000	1001 – 2000	501 – 1000	500 и менее
	1	2	3			4		5	
Транспорт	0,08	0,13	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18
Инфраструктура поселения	0,01	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17
Энергетика	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15
Медицина и здоровье	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14
Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	0,18	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13

Офис	0,18	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10
Производство и поставки товаров	0,18	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06
Розничная торговля	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Другие	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Из прогноза видно, что можно выделить 5 групп населенных пунктов: с численностью населения более 20 тыс. человек, от 10 до 20 тыс., от 3 до 10 тыс., от 1 до 3 тыс. и до 1 тыс. человек. Внутри этих групп численные характеристики имеют близкие значения.

На рисунке 2.16 и в таблице 2.16 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения более 20 тыс. человек, на период до 2030 года.

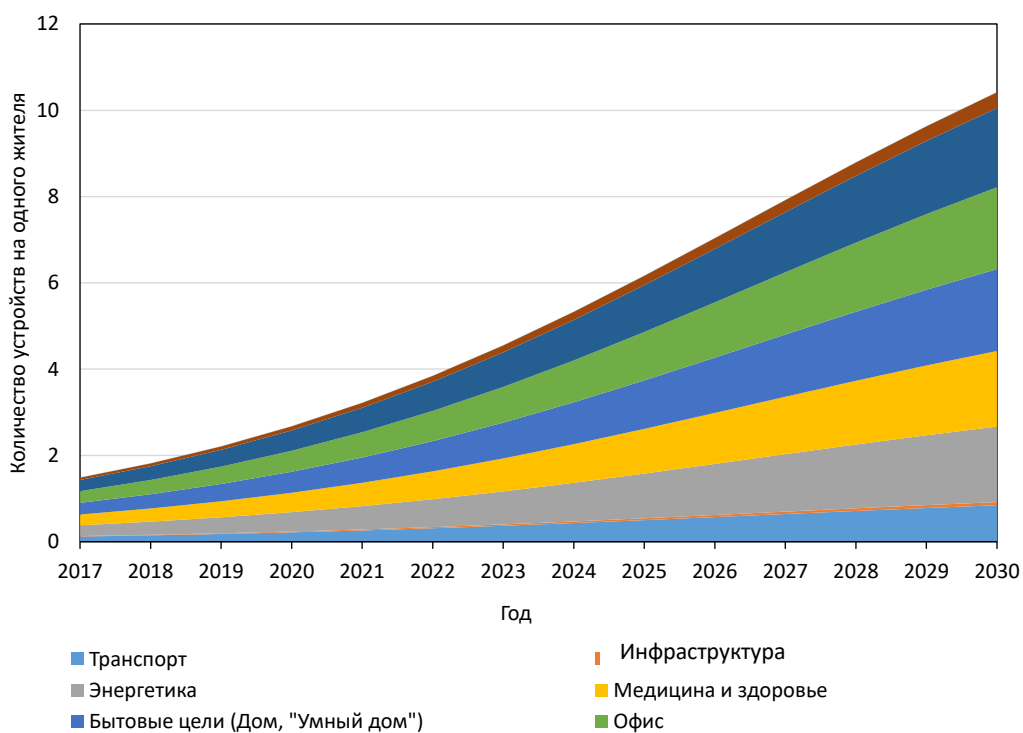


Рисунок 2.16 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения более 20 тыс. человек.

Таблица 2.16. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения более 20 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя)

Год	Транспорт	Инфраструктура поселения	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,120	0,010	0,250	0,250	0,270	0,270	0,261	0,052
2018	0,147	0,013	0,305	0,305	0,330	0,330	0,319	0,064
2019	0,179	0,015	0,371	0,371	0,402	0,402	0,389	0,077
2020	0,217	0,019	0,449	0,449	0,487	0,487	0,471	0,094
2021	0,261	0,023	0,541	0,541	0,586	0,586	0,567	0,113
2022	0,312	0,027	0,646	0,646	0,700	0,700	0,677	0,135
2023	0,369	0,032	0,765	0,765	0,829	0,829	0,801	0,159
2024	0,432	0,037	0,896	0,896	0,970	0,970	0,938	0,187
2025	0,500	0,043	1,036	1,036	1,123	1,123	1,086	0,216
2026	0,570	0,049	1,183	1,183	1,281	1,281	1,239	0,246
2027	0,642	0,055	1,331	1,331	1,442	1,442	1,395	0,277
2028	0,713	0,062	1,478	1,478	1,601	1,601	1,548	0,308
2029	0,781	0,067	1,619	1,619	1,754	1,754	1,696	0,337
2030	0,844	0,073	1,752	1,752	1,898	1,898	1,835	0,365

На рисунке 2.17 и в таблице 2.17 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 10 тыс. до 20 тыс. человек на период до 2030 года.

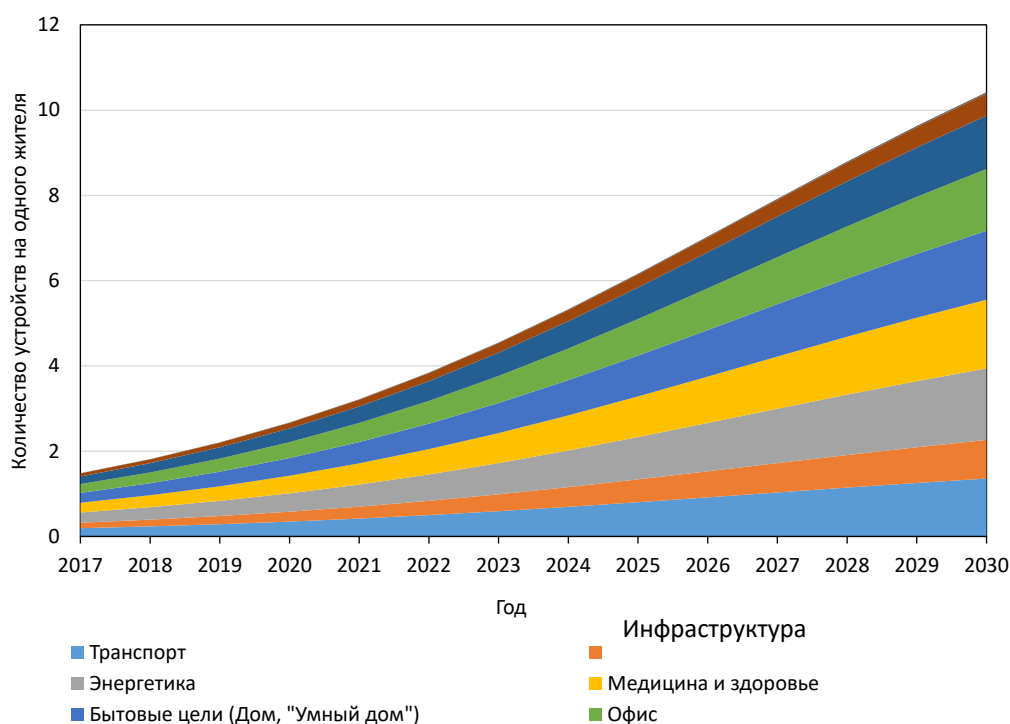


Рисунок 2.17 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения от 10 до 20 тыс. человек.

Таблица 2.17. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 10 до 20 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя)

Год	Транспорт	Инфраструктура поселения	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,193	0,129	0,239	0,230	0,230	0,207	0,178	0,074
2018	0,236	0,158	0,292	0,280	0,282	0,252	0,218	0,090
2019	0,288	0,192	0,356	0,341	0,343	0,307	0,265	0,109
2020	0,348	0,232	0,430	0,413	0,415	0,372	0,321	0,133
2021	0,419	0,280	0,518	0,497	0,499	0,448	0,387	0,160
2022	0,501	0,334	0,619	0,594	0,597	0,535	0,462	0,191
2023	0,593	0,395	0,733	0,703	0,706	0,633	0,547	0,226
2024	0,694	0,463	0,858	0,824	0,827	0,742	0,640	0,264
2025	0,803	0,536	0,993	0,953	0,957	0,858	0,740	0,306
2026	0,917	0,611	1,133	1,088	1,092	0,979	0,845	0,349
2027	1,032	0,688	1,275	1,224	1,229	1,102	0,951	0,393
2028	1,146	0,764	1,416	1,359	1,364	1,223	1,056	0,436
2029	1,255	0,837	1,551	1,489	1,495	1,340	1,157	0,477
2030	1,358	0,905	1,678	1,611	1,617	1,450	1,252	0,517

На рисунке 2.18 и в таблице 2.18 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 3 до 10 тыс. человек на период до 2030 года.

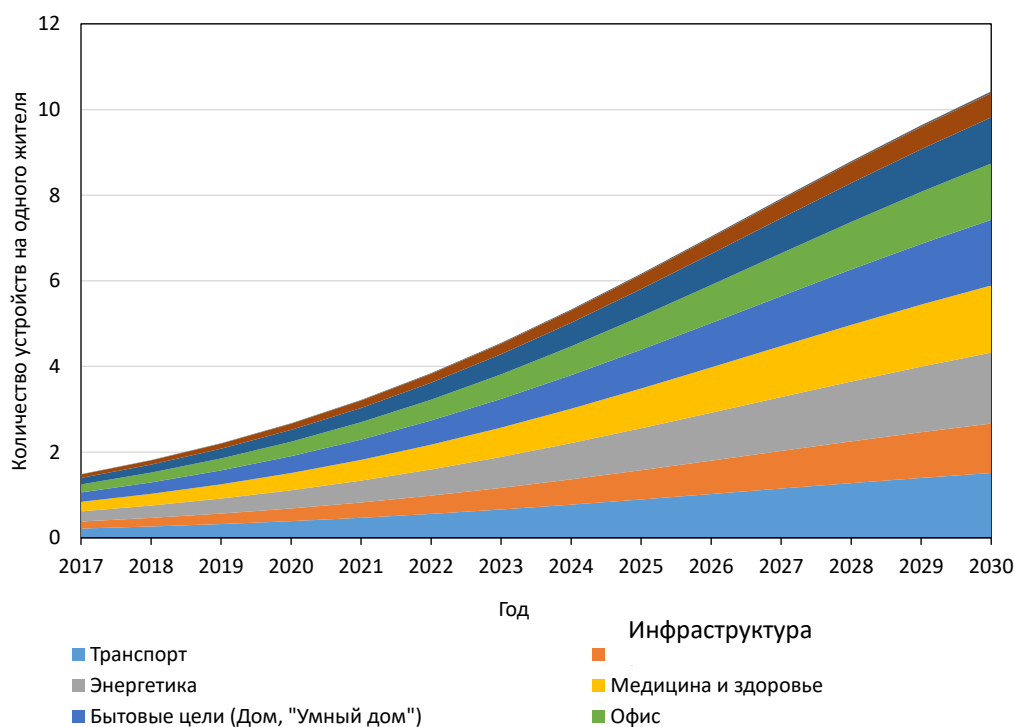


Рисунок 2.18 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения от 3 до 10 тыс. человек.

Таблица 2.18. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 3 до 10 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя)

Год	Транспорт	Инфраструктура поселения	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,215	0,165	0,236	0,224	0,218	0,187	0,153	0,080
2018	0,263	0,201	0,288	0,273	0,267	0,229	0,187	0,098
2019	0,320	0,245	0,351	0,332	0,325	0,279	0,228	0,119
2020	0,388	0,296	0,425	0,403	0,393	0,338	0,276	0,144
2021	0,467	0,357	0,511	0,484	0,473	0,406	0,332	0,174
2022	0,558	0,426	0,611	0,579	0,565	0,485	0,397	0,207
2023	0,660	0,504	0,723	0,685	0,669	0,575	0,470	0,245
2024	0,773	0,591	0,847	0,802	0,784	0,673	0,551	0,287
2025	0,894	0,683	0,979	0,928	0,907	0,778	0,637	0,333
2026	1,021	0,780	1,118	1,059	1,035	0,889	0,727	0,380

Год	Транспорт	Инфраструктура поселения	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2027	1,149	0,878	1,258	1,192	1,165	1,000	0,818	0,427
2028	1,276	0,975	1,397	1,324	1,293	1,110	0,908	0,474
2029	1,397	1,068	1,530	1,450	1,417	1,216	0,995	0,520
2030	1,512	1,155	1,656	1,569	1,533	1,316	1,077	0,562

На рисунке 2.19 и в таблице 2.19 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 1 до 3 тыс. человек, на период до 2030 года.

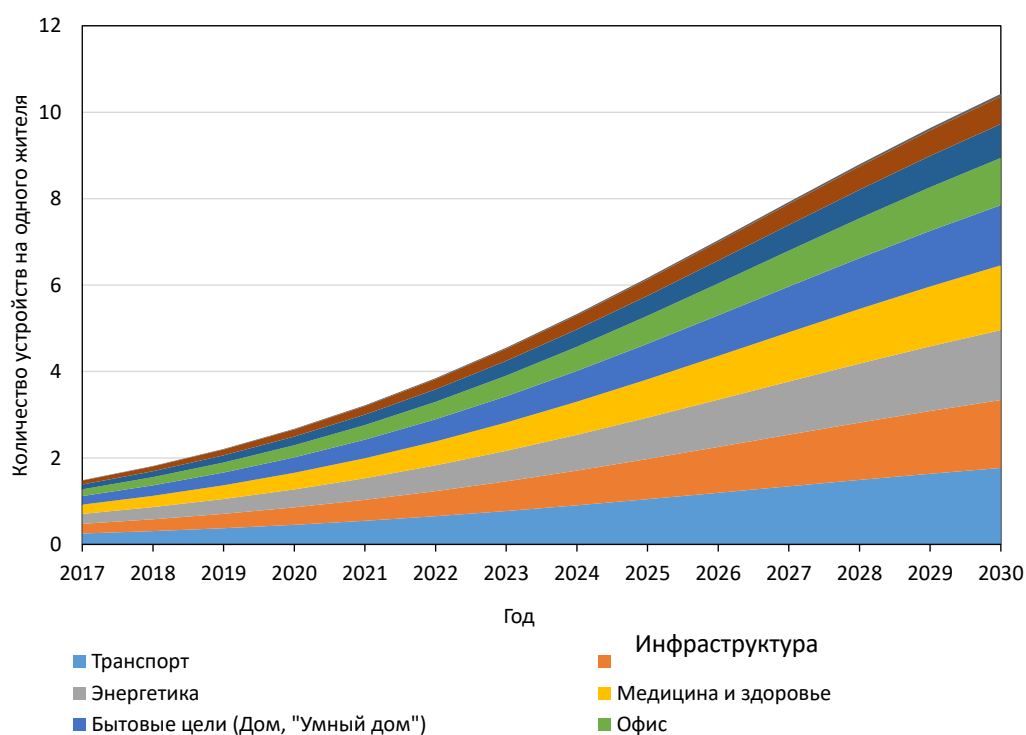


Рисунок 2.19 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения от 1 до 3 тыс. человек.

Таблица 2.19. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения от 1 до 3 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя)

Год	Транспорт	Инфраструктура поселения	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,252	0,224	0,231	0,213	0,198	0,156	0,112	0,091
2018	0,308	0,274	0,282	0,261	0,242	0,190	0,137	0,111
2019	0,375	0,333	0,343	0,318	0,295	0,231	0,166	0,135
2020	0,454	0,403	0,415	0,384	0,357	0,280	0,201	0,164
2021	0,546	0,485	0,500	0,463	0,430	0,337	0,242	0,197
2022	0,652	0,580	0,597	0,553	0,514	0,403	0,290	0,235
2023	0,772	0,686	0,707	0,654	0,608	0,477	0,343	0,279
2024	0,904	0,804	0,828	0,766	0,712	0,558	0,401	0,326
2025	1,046	0,930	0,958	0,886	0,824	0,646	0,464	0,377
2026	1,194	1,061	1,093	1,012	0,940	0,737	0,530	0,431
2027	1,344	1,194	1,230	1,139	1,059	0,830	0,597	0,485
2028	1,492	1,326	1,366	1,264	1,175	0,921	0,662	0,538
2029	1,635	1,452	1,496	1,385	1,287	1,009	0,726	0,590
2030	1,769	1,571	1,619	1,498	1,393	1,092	0,785	0,638

На рисунке 2.20 и в таблице 2.20 приведены прогнозы развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения менее 1 тыс. человек, на период до 2030 года.

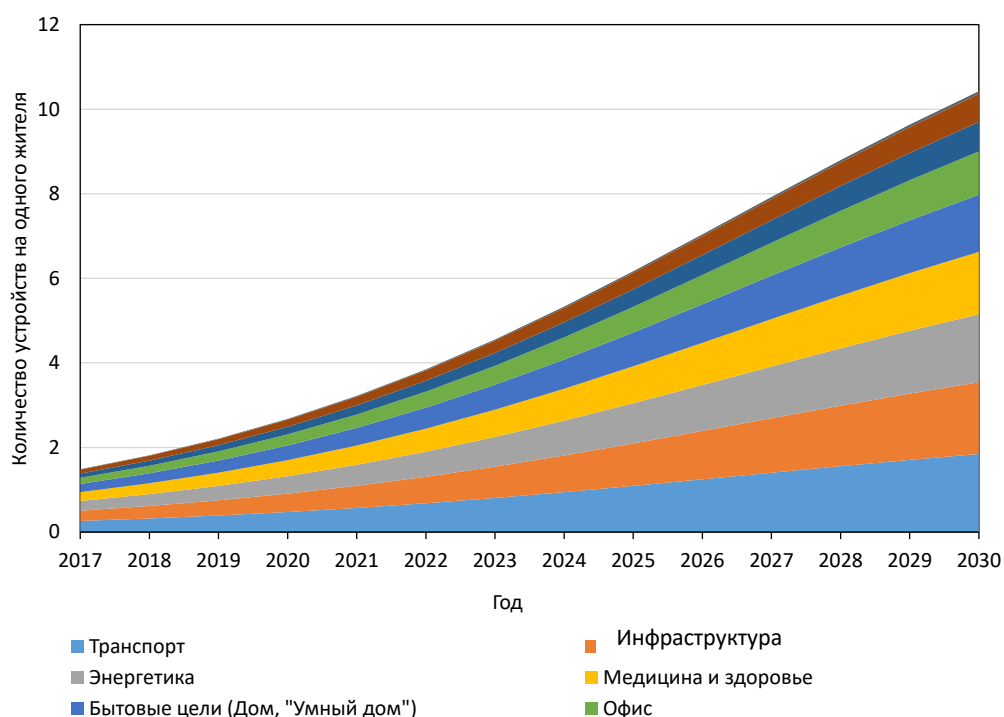


Рисунок 2.20 – Прогноз роста количества ИВ в сельских населенных пунктах с численностью населения менее 1 тыс. человек.

Таблица 2.20. Прогноз развития ИВ по секторам в сельских населенных пунктах с численностью населения менее 1 тыс. человек (количество ИВ на одного жителя)

Год	Транспорт	Инфраструктура поселения	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2017	0,263	0,242	0,229	0,210	0,192	0,146	0,099	0,094
2018	0,321	0,295	0,280	0,257	0,235	0,178	0,121	0,115
2019	0,391	0,359	0,341	0,313	0,286	0,217	0,148	0,140
2020	0,474	0,435	0,413	0,379	0,347	0,263	0,179	0,170
2021	0,570	0,524	0,496	0,456	0,417	0,316	0,215	0,204
2022	0,681	0,626	0,593	0,545	0,498	0,378	0,257	0,244
2023	0,806	0,741	0,702	0,645	0,590	0,448	0,305	0,289
2024	0,944	0,867	0,822	0,756	0,691	0,524	0,357	0,338
2025	1,092	1,003	0,951	0,874	0,799	0,606	0,413	0,391
2026	1,246	1,145	1,086	0,998	0,912	0,692	0,471	0,446

Год	Транспорт	Инфраструктура поселения	Энергетика	Медицина и здоровье	Бытовые цели (Дом, "Умный дом")	Офис	Производство и поставки товаров	Розничная торговля
2027	1,403	1,289	1,222	1,123	1,027	0,779	0,530	0,502
2028	1,557	1,431	1,356	1,247	1,140	0,865	0,589	0,558
2029	1,706	1,568	1,486	1,365	1,248	0,947	0,645	0,611
2030	1,846	1,696	1,608	1,477	1,351	1,025	0,697	0,661

3 Прогнозы внедрения «умных городов» в типовых городских поселениях

3.1 Развитие «умных городов» в мире

В настоящее время развитые мегаполисы во всех частях планеты пробуют воплотить в жизнь концепцию создания «умных» городов. Основной целью создания «умного» города является предоставление одинакового уровня удобств проживания в городе всем гражданам.

Развитие «умных городов» является следствием внедрения инфокоммуникационных технологий в различные сферы деятельности людей, в наибольшей степени определяющие жизнь современного города. Одной из основных составных частей «умного города» является Интернет Вещей, который определяет базовый уровень развития. Наряду с ИВ в данном процессе могут участвовать и другие современные технологии, например, дополненная реальность.

Дополненная реальность (ДР) в силу ряда своих преимуществ, одним из которых является наглядность предоставляемой информации, а другим удобство использования, проникла во многие сферы деятельности, но именно применение технологии ДР при создании «умных городов» позволит ей выйти в широкие массы и стать частью повседневной жизни каждого горожанина. Сегодня уже известно несколько удачных проектов создания «умных» городов, среди них Сингапур, которому часто отдают лидерство в этом вопросе. В Сингапуре успешно внедрились систему датчиков, контролирующих энерго- и водоснабжение, солнечные панели, вакуумные мусоросборники, а также систему мониторинга за пожилыми и больными людьми, которые живут одни и в случае изменения жизненно важных показателей информация о них немедленно поступает на пульт скорой помощи. До недавнего времени проекты создания умных городов, в основном, ориентировались на улучшении экологии большого города, однако, с появлением дополненной реальности стали расширять понятие «умного города», и включили в него удобство при пользовании городскими условиями и транспортом, а также повышение качества жизни в целом. Так в городе Коламбус, штат Огайо, США компания Google внедрила проект Flow. Задача данного приложения анализировать информацию о дорожной обстановке в городе, получаемую со смартфонов и навигаторов жителей, и предлагать оптимальные маршруты следования. Также в этом городе планируют в ближайшее время внедрить беспилотные автобусы, которые будут курсировать по заданному маршруту. В КНР в городе Иньчуань работает система, которая позволяет оплачивать покупки и услуги «лицом». На кассах установлена система распознавания лиц, а деньги просто списываются со счета покупателя. В администрации же города на входе жителей встречают голограммы, которые помогают решить большую часть возникающих вопросов. В городе Фудзисава в Японии внедрена система умного освещения улиц. Фонари включаются только в том случае, если в радиусе их действия находится какой-либо объект. В России также планируется создать умные города в рамках государственной программы «Цифровая экономика России».

Под умным городом принято понимать улучшение качества управления основными системами городов и уровня жизни его жителей за счет внедрения инновационных технологий и передовых инженерных и технологических решений. Для того, чтобы повысить конкурентоспособность крупных российских городов по сравнению с другими странами, предполагается создать безопасные и комфортные условия для жизни горожан

и сформировать эффективную систему управления городскими службами. При этом рассматриваются следующие ключевые направления умного города:

- Городское управление подразумевает вовлечение граждан в решение различных вопросов, связанных как с перспективами развития, так и с жалобами и обращениями граждан. Планируется создание цифровых платформ управления городами с применением искусственного интеллекта.
- Энергетика включает в себя умные счетчики, оптимизацию энергозатрат и экономию энергоресурсов.
- Водоснабжение – оснащение датчиками учета, мониторинг сетей водоснабжения, дистанционное снятие показателей со счетчиков.
- Теплоснабжение также включает в себя систему мониторинга тепловых сетей, автоматизированный учет тепловой энергии, комплексное удаленное управление процессами теплоснабжения.
- Строительство. Большинство домов в настоящее время в крупных городах старой постройки, поэтому требуется комплексный подход к ремонту, обслуживанию зданий и сооружений с помощью инновационных систем планирования работ и анализа заявок.
- Безопасность. Под данной категорией подразумевают улучшение общественной безопасности города за счет внедрения интеллектуальных систем, таких как видеонаблюдение, информирование граждан о чрезвычайных происшествиях и аварийных ситуациях, контроль противопожарных систем на крупных общественных объектах и т.д.
- Транспорт. Одна из наиболее проработанных категорий подразумевает создание умной транспортной инфраструктуры города, а именно повсеместное внедрение устройств фото- и видео- фиксации нарушения правил дорожного движения. Также представляет интерес разработка системы мониторинга дорожного полотна в целях оптимального планирования ремонтных работ. Интеллектуальное управление общественным транспортом позволит отслеживать маршруты и загруженность транспорта, и информировать жителей о времени его прибытия на остановку, количестве свободных мест, направлении движения и т.д., сообщать о произошедших инцидентах и способствовать их оперативному устранению. Увеличение количества и улучшение администрирования парковок также входит в эту категорию.
- Экология. Уже сегодня можно встретить много проектов с применением ДР и ИВ, которые позволяют контролировать состояние окружающей среды в разных районах города, это и загазованность, и пробы воды в реках, озерах, прудах, фонтанах, качество воздуха, наличие вредных примесей и т.д.
- Отходы. Для больших городов очень актуальной является задача вывоза мусора и его переработка. Сегодня необходимо внедрять новые системы вывоза мусора и его дальнейшей утилизации, контролировать и предотвращать появление нелегальных свалок мусора, обеспечивать своевременный вывоз с общественных территорий.

Эти задачи зачастую объединяют в группы, так активно создаются приложения мониторинга в сфере ЖКХ, которые включают в себя сбор показаний с различных приборов учета освещенности, воды, газа и т.п., контроль состояния зданий, исправность лифтового оборудования, противопожарных систем, протечек, температуры в помещениях, уровня шума. Сюда же входит электронное собрание собственников в многоквартирных домах и голосование по решениям хозяйственных вопросов. Удобен также автоматизированный контроль исполнения заявок жителей и устранение неисправностей.

С появлением дополненной реальности увеличилось и число приложений в области туризма и сервиса, что привело ко многим инновационным решениям в городской среде. Планируется создать художественную подсветку и энергоэффективное освещение городских улиц, а также архитектурных и исторических объектов. Разработка информационных приложений для туристов, наложенных на интерактивную карту города с дополнительной информацией о часах работы, стоимости входного билета, удобного маршрута проезда или исторической справкой о домах, улицах, памятниках также представляет большой интерес.

Таким образом, в ближайшее время будут созданы множество приложений для умных городов и осуществлен переход на новый принцип организации жизни крупного города. Тогда сразу встает вопрос по каким показателям оценивать степень развития города и может ли он называться «умным».

Развитие «умных городов» является составной частью общего процесса развития ИВ, с той особенностью, что в этом направлении используются и другие современные инфокоммуникационные технологии.

Степень значимости данного направления определяется долей населения, которое в той или иной степени вовлечено в данный процесс. В большинстве развитых стран мира доминирует именно городское население, поэтому, данный процесс в таких странах имеет наибольшую значимость и является одним из основных перспективных процессов развития инфокоммуникационных технологий.

В настоящее время по данным [40] доля городского населения в мире составляет 53,6%, т.е. более половины населения мира будет в той или иной степени иметь отношение к процессам развития технологий «умных городов».

3.2 Анализ особенностей распределения населения России по типам населенных пунктов

В соответствии с [39] в России доля городского населения составляет около 74%. Все городское население России распределено по населенным пунктам городского типа с различной численностью населения. В таблице 3.1 приведены данные о количестве населенных пунктов различного типа. Число населенных пунктов городского типа, согласно этим данным, составляет 2386 населенных пунктов.

Таблица 3.1. Количество населенных пунктов в России по типам

Вид населенного пункта	Количество
Города	1100
Поселки городского типа	1286
Сельские населенные пункты	153124
в том числе без населения	19416
Всего	174926

На рисунке 3.1 и в таблице 3.2 приведены данные о распределении городского населения по населенным пунктам различного типа.

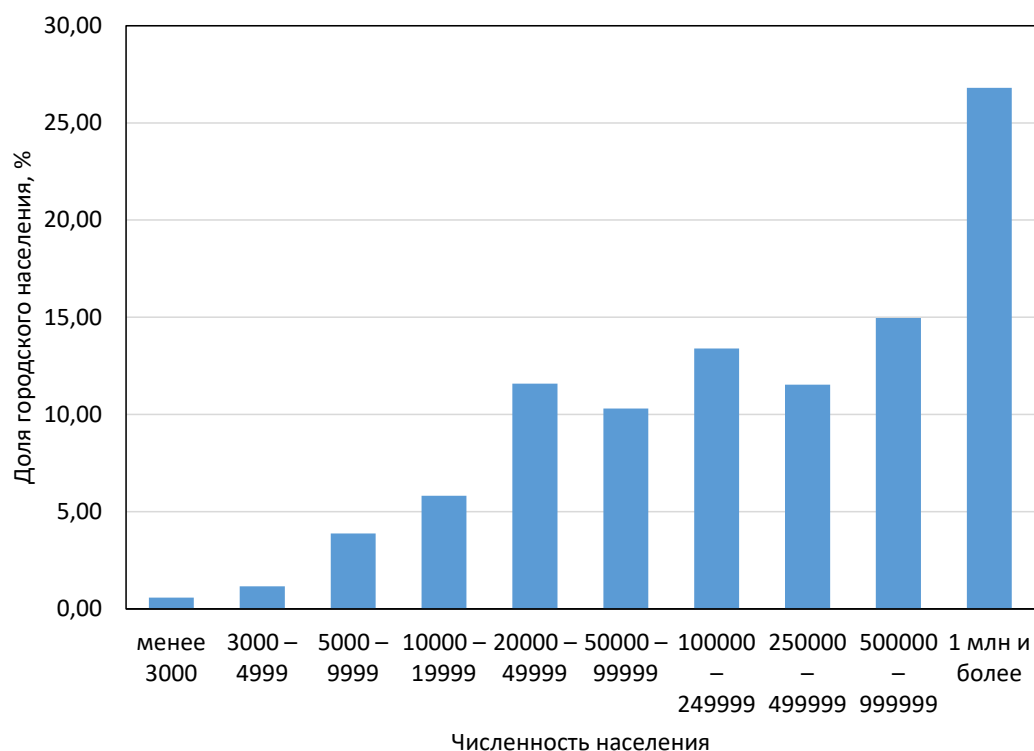


Рисунок 3.1 – Распределение городского населения по городским населенным пунктам различного типа

Таблица 3.2. Распределение городского населения по городским населенным пунктам различного типа

Тип населенного пункта	Кол-во населенных пунктов	Численность населения	Доля городского населения, %
менее 3000	361	610951	0,58
3000 – 4999	306	1213291	1,15

Тип населенного пункта	Кол-во населенных пунктов	Численность населения	Доля городского населения, %
5000 – 9999	570	4076379	3,87
10000 – 19999	444	6129210	5,82
20000 – 49999	386	12201255	11,59
50000 – 99999	155	10854230	10,31
100000 – 249999	91	14105196	13,39
250000 – 499999	36	12146124	11,53
500000 – 999999	25	15754662	14,96
1 млн и более	12	28222475	26,80

Из приведенных данных видно, что более 26% городского населения проживает в городах с численностью населения более 1 млн. человек. Более 60% городского населения проживает в населенных пунктах с численностью населения от 20 тыс. до 1 млн. человек. В этой категории выделяется 5 групп населенных пунктов по численности населения, на каждую из которых приходится от 11 до 15% городского населения. На населенные пункты с численностью населения до 20 тыс. человек приходится менее 12% населения.

Если допустить, что степень значимости технологий «умного города» связана с численностью населения, то можно установить зависимость проникновения данных технологий среди населения России. Проникновение технологий «умного города» будем оценивать долей жителей, использующих технологии «умного города» (хотя бы одну из технологий).

3.3 Прогнозы внедрения «умных городов» в типовых городских поселениях

На основе анализа распределения городских населенных пунктов по численности населения и коэффициентам распределения ИВ по секторам ранее были выделены 5 групп. Аналогичный анализ, с точки зрения набора технологий «умных городов», позволяет выделить 4 группы населенных пунктов по численности населения: более 3 млн. человек (2 города – Москва и Санкт-Петербург), от 250 тыс. до 3 млн. человек, от 50 до 250 тыс., до 50 тыс. человек.

На рисунке 3.2 и в таблице 3.3 приведены прогнозы проникновения технологий «умного города» среди населения городов численностью населения более 3 млн. человек на период до 2030 года.

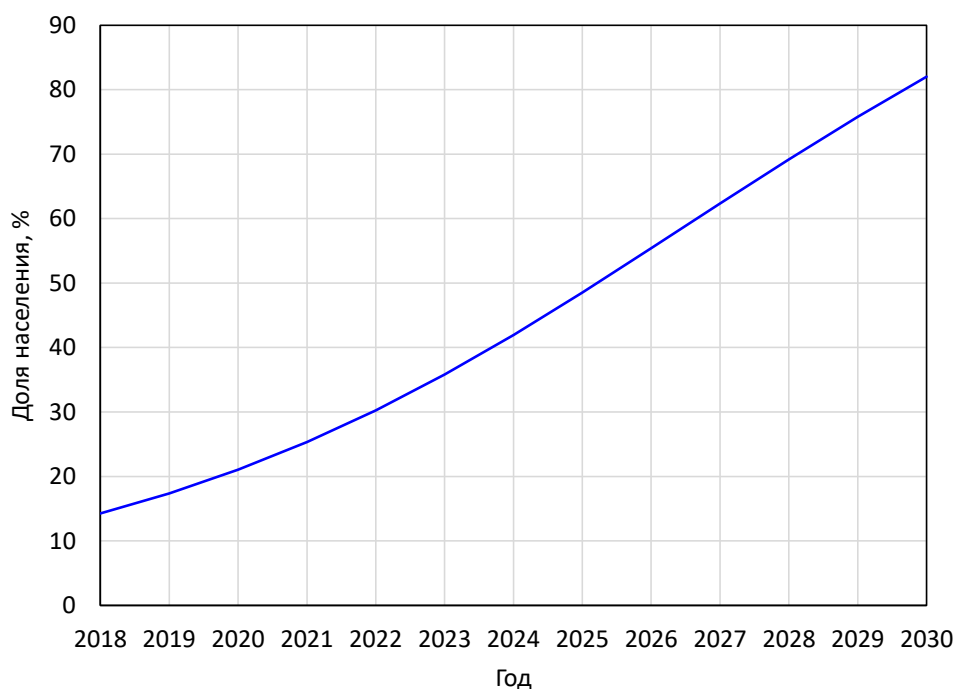


Рисунок 3.2 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения более 3 млн. человек.

Таблица 3.3. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения более 3 млн. человек

Год	Доля пользователей, %
2018	14
2019	17
2020	21
2021	25
2022	30
2023	36
2024	42
2025	49
2026	55
2027	62
2028	69
2029	76
2030	82

На рисунке 3.3 и в таблице 3.4 приведены прогнозы проникновения технологий «умного города» среди населения городов численностью населения более от 250 тыс. до 3 млн. человек на период до 2030 года.

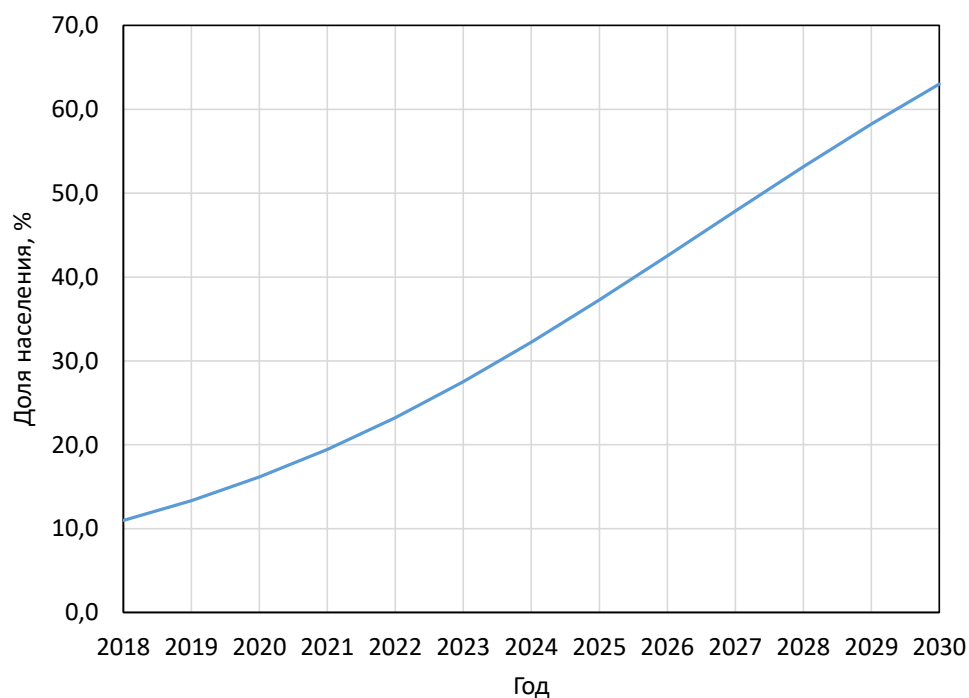


Рисунок 3.3 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 250 тыс. до 3 млн. человек.

Таблица 3.4. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 250 тыс. до 3 млн. человек

Год	Доля пользователей, %
2018	11,0
2019	13,3
2020	16,2
2021	19,5
2022	23,2
2023	27,5
2024	32,2
2025	37,3
2026	42,5
2027	47,9
2028	53,2
2029	58,2
2030	63,0

На рисунке 3.4 и в таблице 3.5 приведены прогнозы проникновения технологий «умного города» среди населения городов численностью населения от 50 до 250 тыс. человек на период до 2030 года.

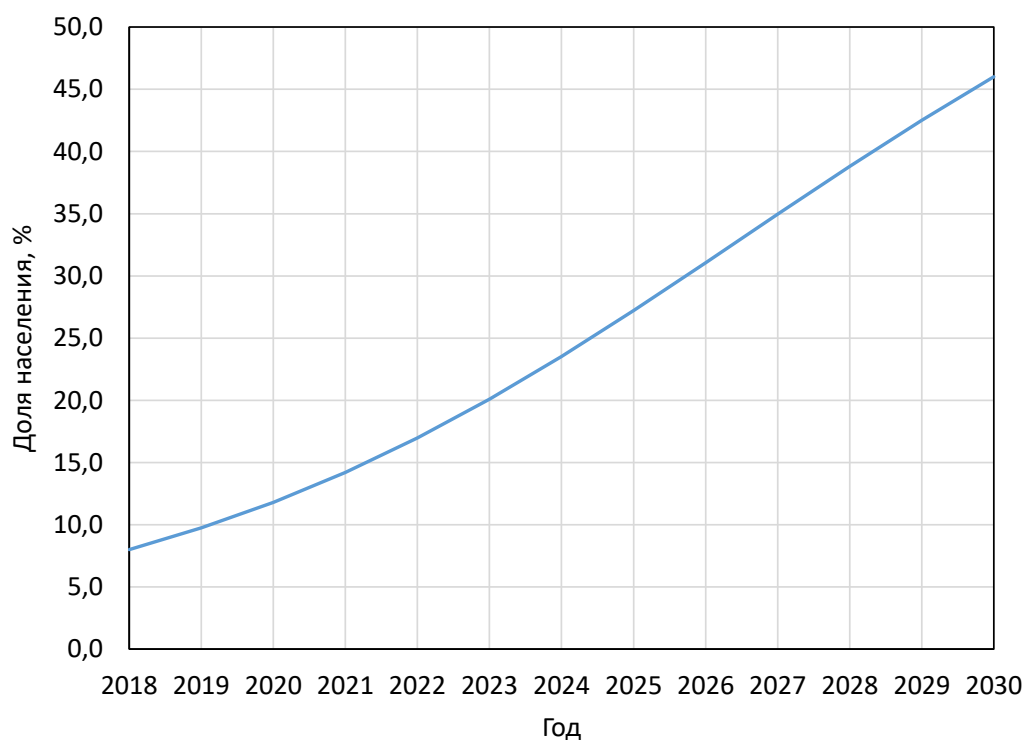


Рисунок 3.4 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 50 тыс. до 250 тыс. человек.

Таблица 3.5. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения от 50 тыс. до 250 тыс. человек

Год	Доля пользователей, %
2018	8,0
2019	9,7
2020	11,8
2021	14,2
2022	17,0
2023	20,1
2024	23,5
2025	27,2
2026	31,1
2027	35,0
2028	38,8
2029	42,5
2030	46,0

На рисунке 3.5 и в таблице 3.6 приведены прогнозы проникновения технологий «умного города» среди населения городов численностью населения до 50 тыс. человек на период до 2030 года.

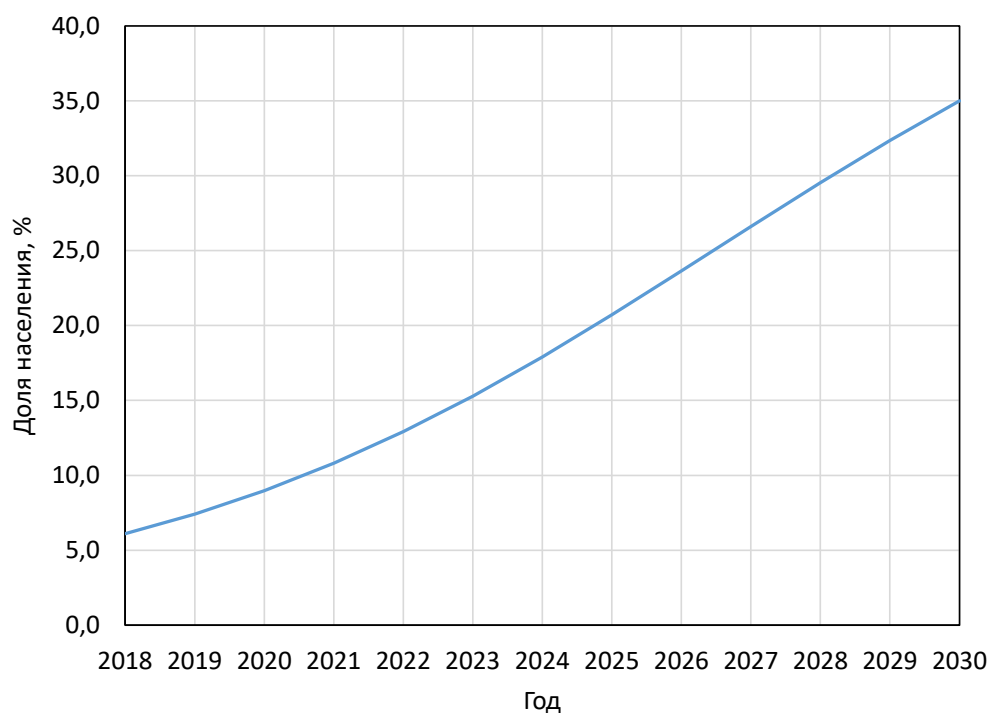


Рисунок 3.5 – Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения до 50 тыс.

Таблица 3.6. Прогноз проникновения технологий «умного города» в населенных пунктах с численностью населения до 50 тыс. человек

Год	Доля пользователей, %
2018	6,1
2019	7,4
2020	9,0
2021	10,8
2022	12,9
2023	15,3
2024	17,9
2025	20,7
2026	23,6
2027	26,6
2028	29,5
2029	32,3
2030	35,0

4 Оценка перспектив внедрения концепции Тактильного интернета и прогноз развития Тактильного интернета до 2030 года

4.1 Анализ развития тактильного Интернета в мире

Концепция Тактильного Интернета получила свое развитие благодаря появлению и развитию технологий, требующих ультра малой задержки при доставке данных. Это, в первую очередь, услуги с высокими требованиями к интерактивности. В частности, это могут быть различного рода системы управления, связанные с передачей тактильных ощущений от исполнительных механизмов и сенсоров на органы управления. Это могут быть такие приложения как: телемедицина (управление медицинским оборудованием), беспилотный автотранспорт (удаленное управление автомобилем), беспилотные летательные аппараты, управляемые роботизированные системы и подобные приложения, услуги дополненной и виртуальной реальности.

Наиболее существенные факторы развития Тактильного Интернета в обозримом будущем связывают с автоматизацией производственных процессов и развитием беспилотных транспортных средств. Поскольку беспилотный транспорт будет распространен во всех секторах экономики, прогноз развития Тактильного Интернета на перспективу до 2030 года целесообразно связать именно с развитием технологий беспилотного транспорта.

В соответствии с прогнозом [43] парк беспилотных автомобилей к 2030 году составит около 15%, а доля продаж около 20%. Телекоммуникационная инфраструктура должна развиваться опережающими темпами, поэтому, проникновение технологий Тактильного Интернета к этому времени должно быть несколько выше, чем ожидаемая доля беспилотных транспортных средств.

4.2 Оценка перспектив внедрения концепции Тактильного интернета

Внедрение Тактильного Интернета сопровождается внедрением комплексных структурных решений, связанных с повышением пропускной способности и сокращением расстояний между точками доступа и точками предоставления услуги (серверами). Последнее достигается путем организации в сети множества облачных серверов и делегирования им функций обслуживания.

Степень внедрения Тактильного Интернета будем описывать доступностью соответствующих услуг. Будем полагать, что услуга доступна, когда пользователю доступны услуги облачных серверов и при этом достигается минимальная величина задержки доставки сообщений. Численно доступность будем характеризовать вероятностью того, что произвольному пользователю в произвольном месте и в произвольное время доступна данная услуга.

Внедрение технологий Тактильного Интернета является следствием действия совокупности факторов: наличия спроса со стороны прикладных задач (беспилотные автомобили, автоматизация производственных процессов, услуги дополненной и виртуальной реальности), наличия инфокоммуникационной инфраструктуры (SDN, облачные серверы) и развития сетей доступа, обеспечивающих требуемые пропускные способности и задержки (5G, а в будущем и сети 2030).

При прогнозировании будем исходить из того, что развитие услуг Тактильного Интернета определяется уровнем развития сетей 5G, а также уровнем развития беспилотного автотранспорта. Поэтому, приведенный ниже прогноз строится на двух основных составляющих: развитии сетей 5G (с учетом услуг) [41] и развитии беспилотного автотранспорта [42].

Доступность услуги также может быть интерпретирована как доля пользователей, которым доступны услуги Тактильного Интернета. Данные прогнозы получены в целом для страны. На данном этапе сложно оценить зависимость их проникновения от особенностей городов и иных населенных пунктов, поскольку в данном случае возможно влияние ряда иных факторов, таких, например, как уровень развития дорожной сети и ее оснащения, развития и проникновения беспилотных летательных аппаратов и развития иных приложений Тактильного Интернета.

4.3 Прогноз развития Тактильного Интернета до 2030 года

На рисунке 4.1 приведен прогноз проникновения услуг Тактильного Интернета в мире (серая кривая), полученный на основе анализа прогнозов проникновения сетей 5G и беспилотного автотранспорта (красная и синяя кривые, соответственно). В таблице 4.1 приведены результаты прогноза развития Тактильного Интернета в мире.

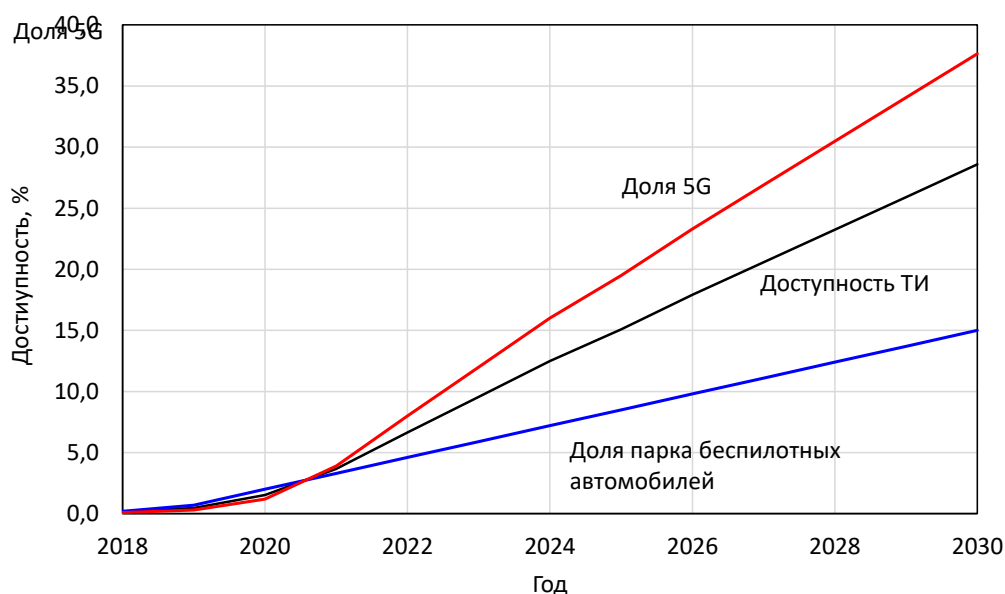


Рисунок 4.1 – Прогноз доступности услуг ТИ в мире

Таблица 4.1. Прогноз доступности услуг ТИ в мире

Год	Доступность ТИ в мире, %
2018	0,2
2019	0,5
2020	1,6

Год	Доступность ТИ в мире, %
2021	3,6
2022	6,3
2023	9,0
2024	11,6
2025	14,3
2026	16,6
2027	19,0
2028	21,4
2029	23,9
2030	26,3

На рисунке 4.2 приведены прогнозы развития Тактильного Интернета в России, полученные аналогичным образом. Для сравнения приведен прогноз роста доступности ТИ в мире. Данные о росте доступности услуг ТИ в России на период до 2030 года приведены в таблице 4.2.

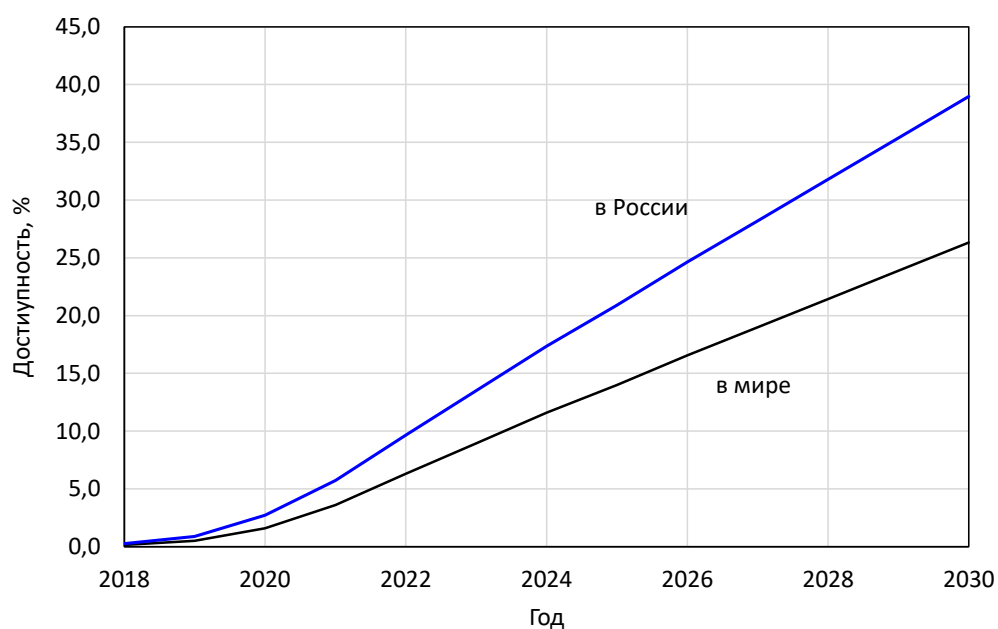


Рисунок 4.2 – Прогноз доступности услуг ТИ в мире и России

Таблица 4.2. Прогноз доступности услуг ТИ в России

Год	Доступность ТИ в России, %
2020	2,7
2021	5,7
2022	9,7
2023	13,5
2024	17,4
2025	20,9
2026	24,6
2027	28,2
2028	31,8
2029	35,4
2030	39,0

Полученные прогнозы показывают, что рост доступности Тактильного Интернета в России на период до 2030 года имеет близкую к линейной зависимость. Прогнозируемое значение 39% к 2030 году можно интерпретировать как долю жителей России, которым будет доступна данная услуга. Вероятно, что на данном этапе произойдет развитие ТИ в городах с большой численностью населения, т.е. в Москве и Санкт-Петербурге, а также начнется развитие в городах с численностью более одного млн. человек.

Как можно видеть из приведенных результатов, прогнозируемые для России значения превышают средние оценки для уровня развития в мире. Это ожидаемый результат, так как развитие всех инфокоммуникационных технологий в России опережает среднемировые показатели. Данный случай не является исключением, такая тенденция ожидается и при развитии Тактильного Интернета.

5 Прогноз по децентрализации сети и размещению центров обработки данных.

Требование к задержке для Тактильного Интернета в 1мс определяют ограничения в области предоставления таких услуг пользователям. Действительно, фундаментальные ограничения по скорости распространения света с учетом особенностей в распространении света в волоконно-оптических системах передачи в рекомендациях Сектора стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) определяются как 5мкс на километр [44]. Как уже выше было сказано, в исследованиях по Тактильному Интернету, как правило, рассматривается круговая задержка. Поэтому, Тактильного Интернета могут быть предоставлены с надлежащим качеством обслуживания и качеством восприятия лишь в круге радиусом 50 километров.

Основываясь на данных по заселенности территории Российской Федерации [45] и ограничениях по расстояниям, на которых могут быть предоставлены услуги сетей связи с ультра малыми задержками, можно спрогнозировать число требуемых центров обработки данных (дата центров) для таких услуг в 6-8 тысяч [46], что уже сегодня требует изменения планов развития сетей связи.

Проиллюстрируем этот процесс на конкретных примерах для регионов Российской Федерации [47]. На Рисунок 5.1, Рисунок 5.2 и Рисунок 5.3 изображены карты Ленинградской области, Московской области и Пермского края соответственно и выделенные группы (кластеры) для обслуживания трафика с учетом целевого значения задержки, не превышающего 1мс. Как уже отмечалось выше, достижение такой величины сопряжено с повышением пропускных способностей линий сети связи. Однако возможности снижения задержки ограничены физической природой среды распространения сигналов, скорость распространения которых ограничена скоростью света. Радиус кластеров, приведенных на рисунках, составляет 50км. Точки генерации трафика обозначены синим цветом. На рисунках эти точки отображены в соответствии с масштабом карты. Центры кластеров, в которых должны размещаться облака операторских компаний, обозначены красным цветом. Размещение кластеров близко к оптимальному.

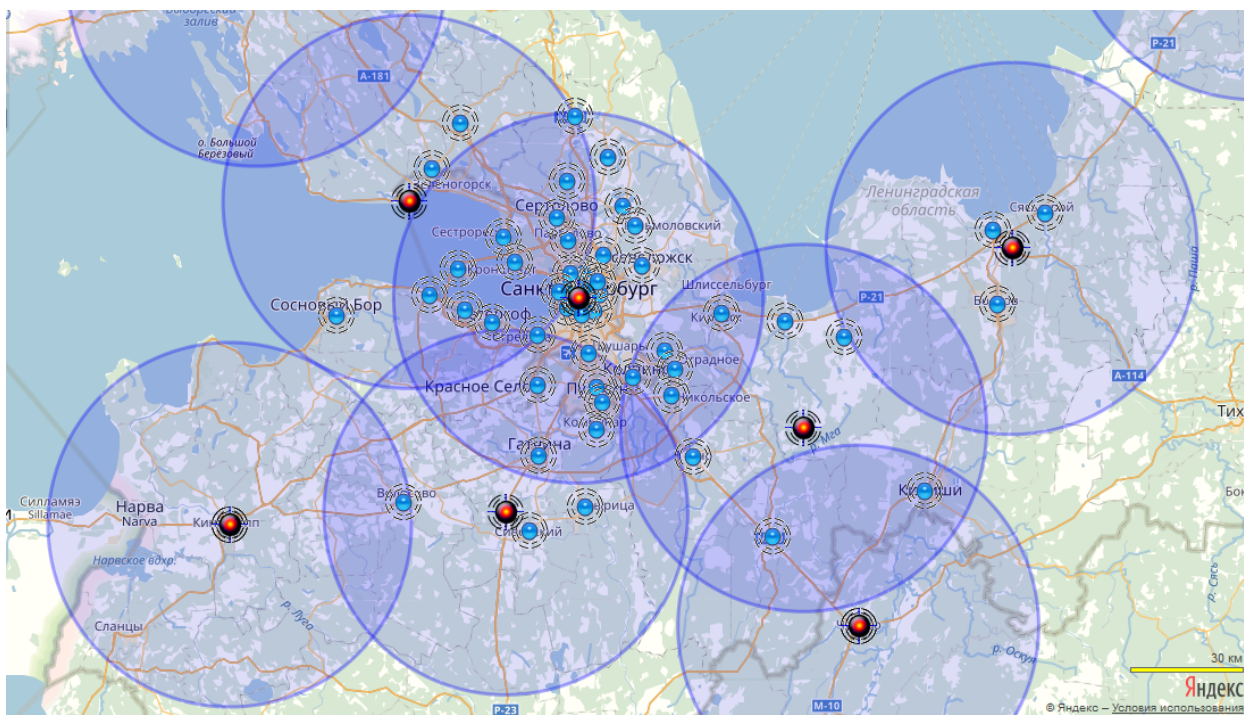


Рисунок 5.1 – Пример кластеризации сети при предоставлении услуг Тактильного Интернета по критерию расстояния

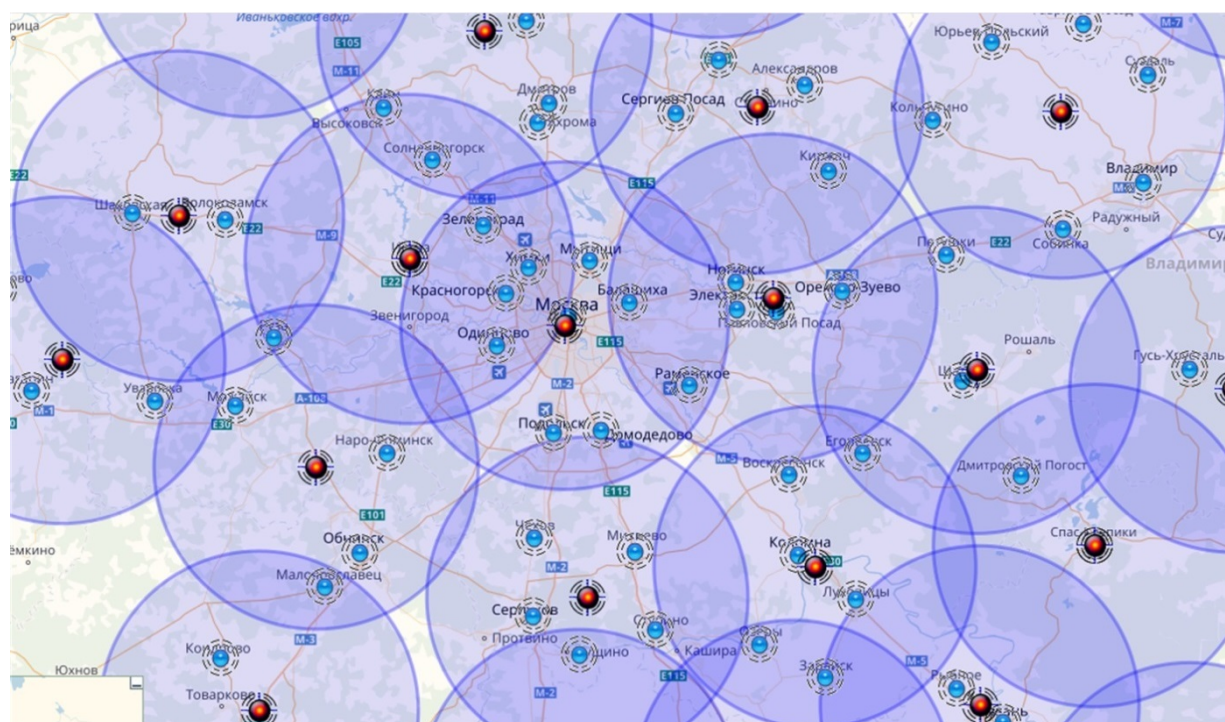


Рисунок 5.2 – Пример кластеризации сети при предоставлении услуг Тактильного Интернета по критерию расстояния (Московская область)

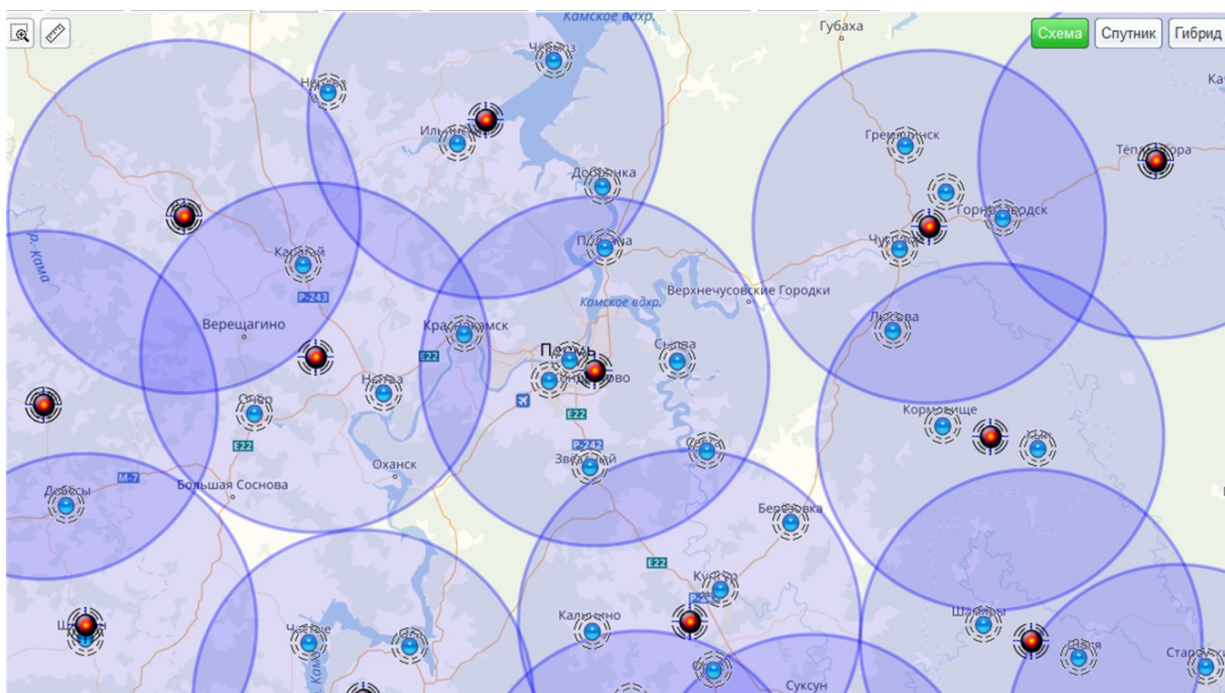


Рисунок 5.3 – Пример кластеризации сети при предоставлении услуг Тактильного Интернета по критерию расстояния (Пермский край)

Размещение кластеров получено с помощью метода (алгоритма) кластеризации FOREL [48]. Суть данного метода состоит в поиске скоплений источников (потребителей трафика), размер которых (скоплений) близок к заданной величине расстояния (радиусу кластера).

Примеры приведены для наиболее населенного района страны (Московская область), промышленного района (Пермская область) и приграничного района (Ленинградская область).

Децентрализация сети при внедрении услуг Тактильного Интернета, а впоследствии и других услуг сетей связи с ультра малыми задержками, создает предпосылки к децентрализации экономики в целом. Действительно, внедрение центров обработки данных не только в крупных городах, но и на уровне районных центров потребует наличия в них высококвалифицированных специалистов. Это, в конечном итоге, приведет к существенному снижению цифрового разрыва между территориями и эффективной реализации цифровой экономики на территории страны. В связи с изложенным, можно констатировать, что внедрение услуг Тактильного Интернета и сетей связи с ультра малыми задержками является эффективным направлением преодоления цифрового разрыва между различными территориями, а, соответственно, и между различными странами.

6 Концепция сети 2030.

Исходя из приведенного выше анализа фундаментальных изменений в развитии сетей связи, можно утверждать, сети связи 2030 будут являться сверхплотными сетями с ультрамалыми задержками, обеспечивающими сокращение цифрового разрыва между территориями за счет децентрализации сети [5,6]. Широкое распространение Интернета Вещей и “умных” городов по различным поселениям к 2030 на основе прогнозов, разработанных в настоящем отчете, будет способствовать повсеместной возможности предоставления услуг сетей 2030. Вместе с тем, эти сети приобретут и ряд новых характеристик за счет развития технологий в области сетей и систем связи и в смежных отраслях.

6.1 Телеприсутствие. Персонализация сети.

Одним из самых перспективных приложений для сетей 2030 является широкое использование и распространение аватаров для воспроизведения и осуществления действий человека, который ими управляет (телеприсутствие). В этом случае может потребоваться обеспечить задержку в сетях даже менее 1 мс.

Кроме того, при увеличении популяции аватаров и их функциональном совершенствовании возникнут ситуации, когда множество аватаров конкретного пользователя будут управляться пользователем либо через головной аватар, либо каким-либо другим доступным способом. Эти сети аватаров могут стать одним из самых важных источников трафика в новых сетях 2030 с новыми типами взаимодействий: Human-to-Avatar (H2A), Avatar-to-Human (A2H) и Avatar-to-Avatar (A2A). Еще раз подчеркнем, что все эти взаимодействия требуют построения сетей с ультрамалыми задержками.

Взаимодействие пользователя с его аватарами приводит к некоей персонализации сети. Действительно, аватар представляет собой принадлежащий пользователю терминал сети, достаточно разумный и удаленный от пользователя на достаточно большое расстояние, измеряемое километрами. В этом случае ресурсы сети используется пользователем для взаимодействия с его же терминалом или терминалами.

Услуги телеприсутствия не ограничиваются только воспроизведением и осуществлением действий пользователя. При использовании голографических приложений и аватаров будет возможно, например, смотреть футбольный матч не по телевизору, а как голографическую модель под любым углом [49].

Примеры взаимодействий с аватарами в сети приведены на Рисунок 6.1.

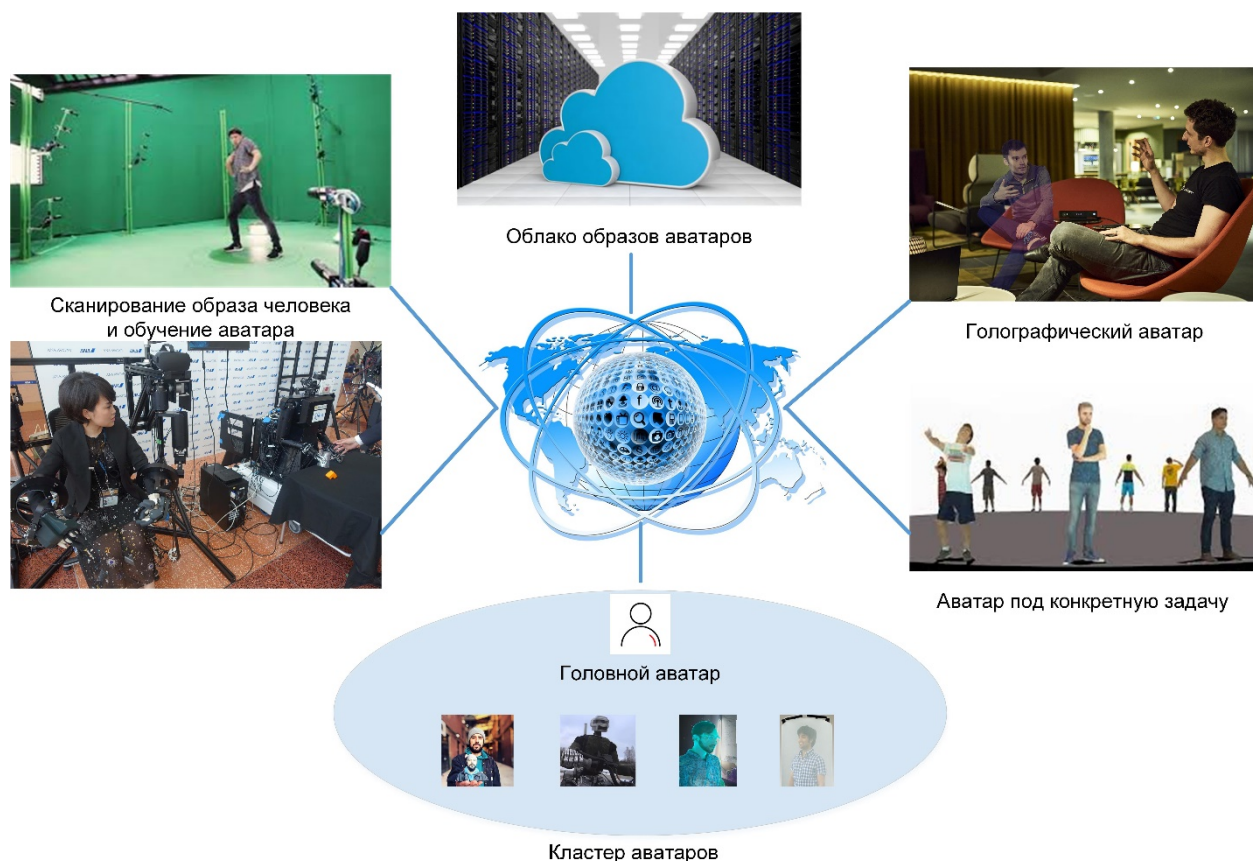


Рисунок 6.1 – Взаимодействия с аватарами в сети связи в 2030 году.

6.2 Наносети.

К 2030 году различные применения наносетей и нановещей [50,51] должны будут найти широкое применение. Нановещи увеличат еще больше плотность сетей. Прогресс в области спектроскопии уже привел к тому, что доступными стали инфракрасные микроспектрометры, которые уже могут быть встроены в смартфоны. Поэтому каждому пользователю ежедневно становится доступным анализ продуктов и других предметов, представляющих интерес, для оперативного подтверждения качества. Эта возможность обеспечивается получением спектрограммы и быстрым анализом в соответствующем облаке. Можно утверждать, что такие услуги будут широко использоваться и создадут новый значительный трафик на сети связи [52].

Использование инфракрасных спектрометров делает возможным использовать феромоны для приема информации, о чем теоретически говорилось в работах [51,53]. Для передачи информации уже используются синтезированные феромоны, а прием до сих пор мог осуществляться только особями живого мира. В работе [54] было предложено использовать феромоны для взаимодействия “От сердца к сердцу” He2He (Heart-toHeart), что в ближайшие 10 лет не выглядит с точки зрения сетей связи нереализуемой возможностью.

6.3 Летающие сети.

В некоторых работах для реализации требований сетей связи 2030 были предложены решения на основе конвергенции наземных и спутниковых сетей [55,56]. Преимущества спутниковых сетей в части покрытия, к сожалению, нивелируются недостатками с точки

зрения величины задержки. Высота орбиты низкоорбитальных спутников составляет 700-1500 км. Естественно, это приводит к принципиально непреодолимым препятствиям в реализации сетевых услуг с ультра малыми задержками. Из-за большого расстояния до спутника можно предоставлять услуги сетей, толерантных к задержкам, но не для повседневных задач людей и роботов, включая аватаров, которые принципиально не могут быть реализованы из-за больших задержек. Более реалистичными для построения сетей 2030 являются сценарии использования летательных аппаратов на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или даже использование привязных БПЛА, которые могут функционировать при высотах, измеряемых десятками и сотнями метров [57]. Это особенно важно для территорий с низкой плотностью населения и труднодоступных районов.

Структура сети связи с ультра малыми задержками в 2030 году приведена на Рисунок 6.2. Помимо рассмотренных выше существующих и новых приложений сети на рисунке изображены также медицинские сети, дополненная реальность, промышленные гуманоиды и приложения для поддержки концепции Индустрии 4.0. Эти приложения также требуют для своего устойчивого функционирования значений задержки величиной не более 1мс.

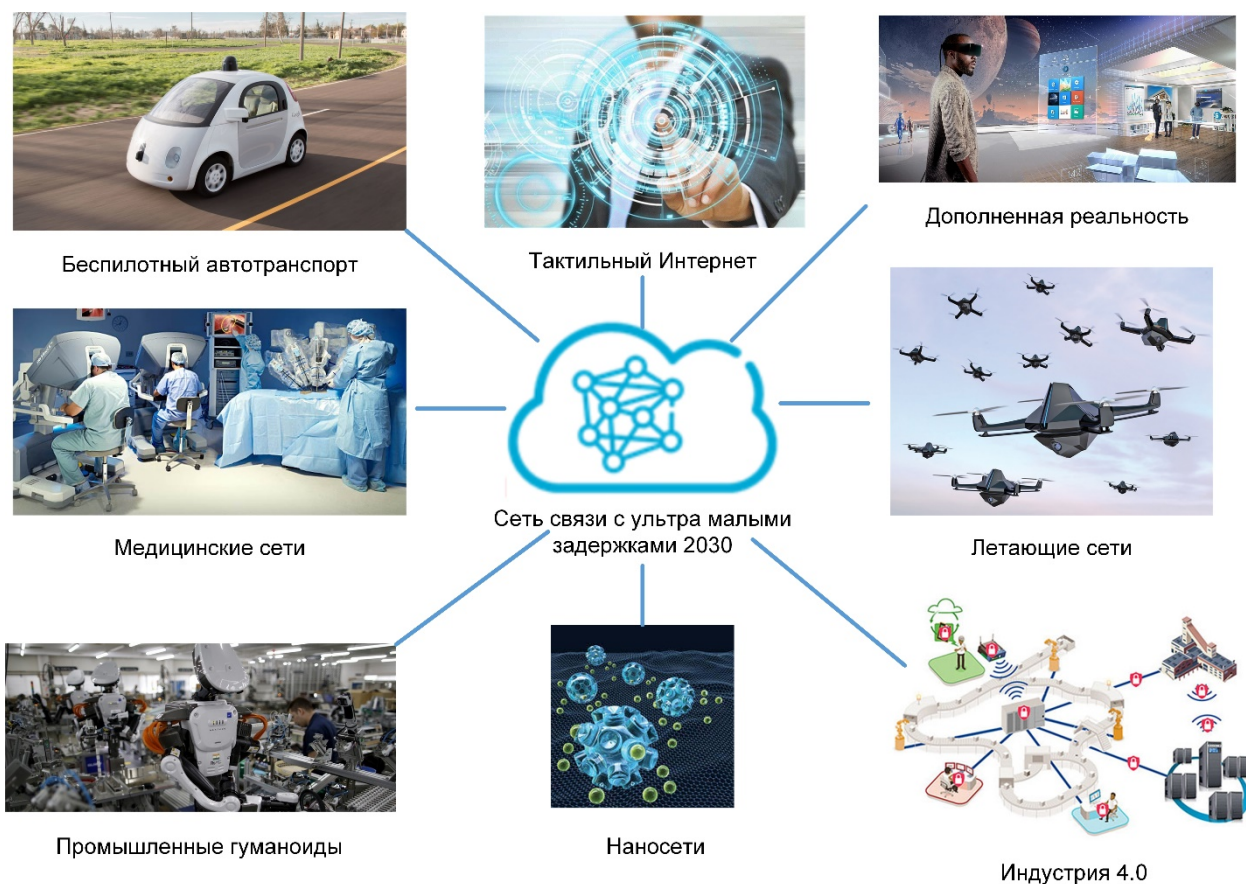


Рисунок 6.2 – Сеть связи с ультра малыми задержками в 2030 году.

6.4 Новые технологии для сетей связи 2030.

Естественно, что многие характеристики сетей связи 2030 будут определяться новыми технологиями, которые найдут широкое внедрение для реализации этих сетей. Искусственный интеллект будет управлять потоками трафика, квантовые компьютеры позволят терминалам пользователя выполнять множество новых задач при

взаимодействиях с близко находящимися пользователями, роботами, устройствами, нанотехнологии предоставят беспрецедентные услуги для пользователей медицинских сетей и т.д. Но с точки зрения сетей связи как таковых сети связи 2030 будут сверхплотными с ультрамалыми задержками, персонализированными для реализации телеприсутствия, с интеграцией наземного и летающего сегмента, функционирующего на малых высотах, взаимодействующими с наномиром, а также в полной мере реализовавшими концепцию Индустрии 4.0 и предоставляющими услуги сети роботам-гуманоидам на производстве.

Заключение

В отчете проведен анализ направлений развития телекоммуникационных сетей с учетом развития Интернета Вещей и “умных” городов с учетом публикаций МСЭ-D, рекомендаций МСЭ-T и других лучших практик, представленных в научных журналах и конференциях за последние 5 лет. Разработаны прогнозы внедрения Интернета Вещей и “умных” городов до 2023 и 2030 годов с учетом типизации городских и сельских поселений, а также прогноз внедрения услуг Тактильного Интернета в мире и для России. Разработан прогноз по децентрализации сети и приведена оценка необходимого числа центров обработки данных при внедрении услуг сетей связи с ультрамалыми задержками. Разработаны основные положения по концепции сетей 2030.

Основные результаты проведенного исследования состоят в следующем:

1. 1. Анализ направлений развития телекоммуникаций с учетом развития Интернета Вещей и “умных” городов показывает, что сети связи к 2023 году будут, в основном, сверхплотными на основе широкого внедрения технологий MEC, SDN, NFV, D2D. Эволюционирующее пакетное ядро сети EPC будет постепенно заменено на ядро сети на базе программно-конфигурируемых сетей SDN, при этом на крупных сетях ядро сети будет иметь мульти контроллерную архитектуру.
2. Широкомасштабное внедрение услуг Тактильного Интернета, а значит и сетей с ультра малыми задержками, следует ожидать после 2025 года, а к 2030 году их доступность в России может достигнуть почти 40% (прогноз по доступности услуг Тактильного Интернета в мире дает соответствующую оценку около 30%).
3. Тактильный Интернет является основной для появления новых сетей связи – сверх высоконадежных сетей связи с ультра малыми задержками uRLLC (ultra Reliable Low Latency Telecommunications). В части параметров надежности эти сети существенно отличаются от существующих: требование к коэффициенту готовности сети составляет 0,999999 вместо существующего значения величиной в 0,9999. Кроме того, для сетей 2030 параметр недоступности сети планируется величиной 4мс в сутки. Все это потребует пересмотра требований по надежности сетей связи.
4. Децентрализация сети при внедрении услуг Тактильного Интернета, а впоследствии и других услуг сетей связи с ультра малыми задержками, создает предпосылки к децентрализации экономики в целом. Внедрение услуг Тактильного Интернета и сетей связи с ультра малыми задержками является эффективным направлением преодоления цифрового разрыва между различными территориями, а, соответственно, и между различными странами.
5. Сети связи 2030 будут сверхплотными с ультрамалыми задержками, персонализированными для реализации телеприсутствия, с интеграцией наземного и летающего сегмента, функционирующего на малых высотах, взаимодействующими с наномиром, а также в полной мере реализовавшими концепцию Индустрии 4.0 и предоставляющими услуги сети роботам-гуманоидам на производстве.
6. Результаты прогнозов по России в целом сведены в следующую таблицу:

Год	Интернет вещей, млрд.	Проникновение услуг «Умный город», %	Доступность услуг тактильного Интернета, %
2020	0,39	14,5	2,7
2021	0,47	17,4	5,7
2022	0,56	20,8	9,7
2023	0,66	24,7	13,5
2024	0,77	28,9	17,4
2025	0,89	33,4	20,9
2026	1,02	38,2	24,6
2027	1,15	42,9	28,2
2028	1,28	47,7	31,8
2029	1,40	52,2	35,4
2030	1,51	56,5	39,0

Полученные прогнозы показывают, что темпы развития и уровень развития данных технологий в России будут превышать среднемировые показатели. Ожидается, что к 2030 количество интернет вещей в России будет более 10 на одного жителя, проникновение услуг «умный город» превысит 50%, а доступность услуг тактильного Интернета возрастет до 39%. Следует заметить, что при этом рассматривались только интернет вещи, которые могут быть подключены к сети.

7. Прогнозы выполнены на основе ассоциативного метода, учитывающего характеристики прогнозов международных организаций, производителей оборудования, операторов и научных коллективов.
8. Типизация городских и сельских поселений была выполнена на основе принятой в демографии классификации по числу жителей. В процессе разработки прогнозов была выявлена целесообразность объединения некоторых из демографических классов в общие, поскольку прогностические значения, например, по числу устройств Интернета Вещей, не имели для этих классов значимых различий. Поэтому, дополнительным результатом проведенных исследований является классификация городских и сельских поселений России на основе внедрения технологий сетей связи.
9. При прогнозировании развития Интернета Вещей рассматривались следующие приложения как наиболее востребованные на сегодняшний день: транспорт, инфраструктура, энергетика, медицина, умный дом, офис (работа), производство и поставка товаров, розничная торговля.

В городах в соответствии с разработанным прогнозом будут доминировать приложения Интернета Вещей в части энергетики, транспорта и городской инфраструктуры. Наибольшая доля интернет вещей приходится на энергетический сектор, что обусловлено его значимостью для городов, разветвленной структурой

сетей распределения электроэнергии и значительным количеством приборов учета.

В поселках городского типа будут доминировать приложения Интернета Вещей в части транспорта, энергетики и умного дома. Наибольшая доля интернет вещей приходится на транспортный сектор, что обусловлено его значимостью для данного рода поселений, жителям которых регулярно приходится пользоваться личным или общественным транспортом и перемещаться на значительные расстояния в соседние города и населенные пункты.

В сельских поселениях будут доминировать приложения интернета Вещей в части энергетики, транспорта, медицины и умного дома, что обусловлено достаточно замкнутым образом жизни, требующим в то же время современного медицинского обслуживания и иных современных услуг.

10. 10. При прогнозировании развития «умных городов» было выделено 4 группы населенных пунктов: более 3 млн. человек (2 города – Москва и Санкт-Петербург), от 250 тыс. до 3 млн. человек, от 50 до 250 тыс., до 50 тыс. человек. Прогноз доли проникновения приложений “умного города” на 2030 год для указанных поселений составляет соответственно 82%, 63%, 46% и 35%.

Литература

11. O.Galinina, A.Pyattaev, S.Andreev, M.Dohler, Y.Koucheryavy. 5G Multi-RAT LTE-WiFi Ultra-Dense Small Cells: Performance, Dynamics, Arhitecture, and Trends. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, March 2015, p.1224-1240.
12. G. P. Fettweis, "The tactile internet: Applications and challenges," IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 9, no. 1, pp. 64–70, 2014.
13. А.Е.Кучерявый. Интернет Вещей. Электросвязь, №1, 2013, с.21-24.
14. Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Киричек Р.В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. — 2016. — № 1 . — С. 44-46.
15. А.Е.Кучерявый, А.С.Бородин, Р.В.Киричек. Сети связи 2030. Электросвязь, №11, 2018, с.52-56.
16. Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Borodin A., Koucheryavy A. Future Networks 2030: Architecture and Requirements. The 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT), November 2018, Moscow. Proceedings, 2018.
17. 3GPP TR 38.913. Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies. V.14.3.0, June 2017.
18. Muthanna, A.; Mašek, P.; Hošek, J.; Fujdiak, R.; Hussein, O.; Paramonov, A.; Koucheryavy, A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless Systems // Lecture Notes in Computer Science, 2016, Vol. 9870, pp. 395-403.
19. А.С.Бородин, А.Е.Кучерявый, А.И.Парамонов Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств. // Электросвязь. - 2018. - № 10. - С. 40-45.
20. Abakumov, P. The Cluster Head Selection Algorithm in the 3D USN / P.Abakumov, A. Koucheryavy // Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, 2014. ICACT 2014. Phoenix Park, Korea.
21. Al-Qadami, N. Mobility Adaptive Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks with Mobile Nodes / N.Al-Qadami, I.Laila, A.Koucheryavy, A.S.Ahmad // ICACT'2015, Proceedings, 1-3 July, Phoenix Park, Pyeongchang, Korea.
22. Al-Naggar, Y. Fuzzy Logic and Voronoi Diagram Using for Cluster Head Selection in Ubiquitous Sensor Networks / Y.Al-Naggar, A.Koucheryavy // LNCS, Springer. 14 th NEW2AN, LNCS 8638, 27-29, August, 2014.
23. The Tactile Internet. Technology Watch report. ITU-T, Geneva, 2014.
24. А.А.Атея. Исследование и разработка методов построения сетей связи пятого поколения, обеспечивающих выполнение требований Тактильного Интернета. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПбГУТ, 2019.
25. Кучерявый А.Е., Тактильный Интернет / Кучерявый А.Е., Выборнова А.И. // Сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО-2016. Том 1. С. 6-11.
26. А.А.Атея, А.И.Выборнова, А.Е.Кучерявый. Многоуровневая облачная архитектура для услуг Тактильного Интернета. Электросвязь, №2, 2017, с.26-30.
27. Атея, А.А. Архитектура сотовой системы 5G на базе MEC / Атея, А.А.; Мутханна, А.С.; Кучерявый, А.Е.; // В книге: Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ-2017) материалы молодежной научной школы. Российский университет дружбы народов; Под общей редакцией К. Е. Самуйлова, Е. А. Кучерявого, А. Н. Дудина. 2017. С. 23-29.

28. Kirichek R. Model networks for internet of things and SDN / Kirichek R., Vladyko A., Zakharov M., Koucheryavy A. // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), 2016, pp. 76-79.
29. Кучерявый А.Е., Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017-2020 годы / Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В., Маколкина М.А., Парамонов А.И., Выборнова А.И., Пирмагомедов Р.Я. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1-14.
30. А.С.Бородин, А.Е.Кучерявый. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики. Электросвязь, №5, 2017, с.45-49.
31. Popovski P. and all. Wireless Access for Ultra-Reliable Low Latency Communications. IEEE Networks, v.32, issue 2. March-April 2018, pp.16-23.
32. Z.Li, M.Uusitalo, H.Shariatmadari, B.Singh. 5G URLLC: Design Challenges and System Concepts. 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), October 8-9. Tokyo, Japan, 2018, 6p.
33. M.F.Zhahi, H.ElBakoury . Introducing FlexNGIA: A Flexible Internet Architecture for the Next-Generation Tactile Internet. 4th ITU Workshop on Network 2030 jointly with ITU FORUM on Future Applications and Services. Perspective 2030. Saint-Petersburg, Russian Federation, 21-23 May 2019, <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Pages/programme.aspx>
34. Ateya, A.A., Vybornova, A., Kirichek, R. and Koucheryavy, A., 2017, February. Multilevel cloud based Tactile Internet system. In Advanced Communication Technology (ICTACT), 2017 19th IEEE International Conference, pp. 105-110.
35. Ateya, A. A. Development of Intelligent Core Network for Tactile Internet and Future Smart Systems / Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Abuarqoub, A.; Vybornova, A.; Koucheryavy, A. // Journal of Sensor and Actuator Networks, 7(1), pp. 1, 2018.
36. Muthanna, A., Ateya, A. A., Makolkina, M., Vybornova, A., Markova, E., Gogol, A., & Koucheryavy, A. SDN multi-controller networks with load balanced. In ACM International Conference Proceeding Series, 2018.
37. Khakimov, A., Gudkova, I., Ateya, A. A., Markova, E., Muthanna, A., & Koucheryavy, A. IoT-Fog based system structure with SDN enabled. In ACM International Conference Proceeding Series, 2018.
38. Ateya, A. A., Muthanna, A., Vybornova, A., Algarni, A. D., Abuarqoub, A., Koucheryavy, Y., & Koucheryavy, A. Chaotic salp swarm algorithm for SDN multi-controller networks. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2019.
39. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 [<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf>].
40. Information and Communications for Development 2018. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank 1818 H Street NW, Washington, DC 20433.
41. The Internet of Things: Seizing the Benefits and Addressing the Challenges. Organisation for Economic Co-operation and Development, 24-May-2016.
42. ICT Facts and Figures 2017. ITU, Printed in Switzerland Geneva, July 2017 © International Telecommunication Union.
43. Dr. Bilel Jamoussi, IoT Prospects of Worldwide Development and Current Global Circumstances. Telecommunication Standardization Bureau, ITU.
44. Кучерявый А.Е., Модели трафика для сенсорных сетей в U-России / Кучерявый А.Е., Парамонов А.И. // Электросвязь. 2006. № 6. С. 15-19.

45. Кучерявый А.Е., Сети связи с малыми задержками / Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Аль-Наггар Я.М. // Электросвязь. 2013. № 12. С. 15-19.
46. А.Е.Кучерявый, А.В.Прокопьев, Е.А.Кучерявый. Самоорганизующиеся сети. СПб, "Любавич", 2011.
47. Analysts to Explore How IoT Will Accelerate Digital Transformation Initiatives at the Gartner IT Symposium/Xpo, November 3-7, 2019 in Barcelona, Spain.
48. Госкомстат РФ, Тома официальной публикации итогов Всероссийской переписи населения 2010 года [https://gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm].
49. Жилищное хозяйство в России. 2016: Стат. сб./ Росстат. - Ж72 М., 2016. – 63 с.
50. Market Forecast 5G Connections, Worldwide 2018-2025, CCS Insight.
51. Todd Litman, Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute. 27 October 2019 [www.vtpi.org/avip.pdf].
52. Ved P. Kafle, Hiroaki Harai, Yusuke Fukushima, Internet of things standardization in ITU and prospective networking Technologies. Article in IEEE Communications, DOI: 10.1109/MCOM.2016.7565271
53. The World Factbook. Central Intelligence Agency, 2018.
54. Recommendation Y.1541. ITU-T, Geneva, December, 2011.
55. А.Тревиш. Россия: население и пространство. Демоскоп, Weekly, №95-96, 1-19 января, 2003.
56. Н.А.Чистова, А.Е.Кучерявый. Анализ технико-экономических последствий внедрения сетей связи с ультра малыми задержками. Информационные технологии и телекоммуникации, №4, 2018, с.53-60.
57. А.С.Бородин. Разработка и исследование методов построения сетей связи пятого поколения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПбГУТ, 2019.
58. Парамонов А.И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. СПбГУТ, СПб, 2014.
59. M.T.Vega. Towards Truly Immersive Holographic-Type Communication^ Challenges and Solutions. 4th ITU Workshop on Network 2030 jointly with ITU FORUM on Future Applications and Services. Perspective 2030. Saint-Petersburg, Russian Federation, 21-23 May 2019, <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Pages/programme.aspx>
60. Akyildiz Y.F., Jornet J.M. Internet of Nano-Things. IEEE Wireless Communications. December 2010, v.17, №6, pp.58-63.
61. Кучерявый А.Е. Введение в наносети. 66-я научная конференция, посвященная Дню Радио. Труды конференции, 2011, с.186-187.
62. Захаров М.В., Кучерявый А.Е., Киричек Р.В. Молекулярные наносети. Сбор информации из наномира. Электросвязь, №10, 2018.
63. Akyildiz Y.F. et al. Nanonetworks: A New Communication Paradigm. Computer Networks, Elsevier, 2008.
64. Koucheryavy A. From Ubiquitous Sensor Network (USN) to Heart to Heart (He2He) Communications. Kaleidoscope 2014. ITU-T. <https://www.itu.int/en/ITU-T/academia/kaleidoscope/2014/Pages/programme.aspx>.
65. B. G. Evans, "The role of satellites in 5G," in Advanced Satellite Multimedia Systems Conference and the 13th Signal Processing for Space Communications Workshop (ASMS/SPSC), 2014 7th, pp. 197– 202, IEEE, 2014.

66. H. Yao, L. Wang, X. Wang, Z. Lu, and Y. Liu, "The Space-Terrestrial Integrated Network (STIN): An Overview," IEEE Communications Magazine, no. 99, pp. 2–9, 2018.
67. Vishnevsky V.M., Efrosinin D.V., Krishnamoorthy A. Principles of Construction of Mobile and Stationary Tethered High-Altitude Unmanned Telecommunication Platforms of Long-Term Operation. Communications in Computer and Information Science 919, Springer 2018, pp.561-569.