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

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

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ

Состояние и перспективы развития рынка нового поколения технологий связи в России и мире. Оценка влияния на показатели развития НТИ «Автонет»

Москва 2021

ОТЧЕТ

Состояние и перспективы развития рынка нового поколения технологий связи в России и мире. Оценка влияния на показатели развития НТИ "Автонет"

2021 г.

Исследование состояния и перспектив развития рынка нового поколения технологий связи в России и мире. Оценка влияния на показатели развития НТИ «Автонет» (аналитический отчёт, 2021). В исследовательской работе рассматриваются общие сведения о технологиях связи (характеристики, классификация, области применения); определены технологические драйверы развития мирового рынка технологий связи; приведена оценка технологических и экономических индикаторов рынка; предоставлена географическая структура мирового рынка технологий связи по основным регионам (Европа, Северная Америка, АТР); описана отраслевая структура мирового рынка технологий связи; предоставлен обзор зарубежных разработчиков технологий связи; проанализирован российский рынок технологий связи; рассмотрена деятельность ведущих российских разработчиков технологий связи, а также компаний, предоставляющих услуги на основе использования технологий связи; оценено влияние на российский и международный рынок "Автонет". - Москва, 2021 – 210 с.

Содержание

Введение 6

Основные выводы 8

Методология исследования 17

Глава 1. Общая характеристика продуктов рынка нового поколения технологий связи в России и мире 19

1.1. Описание и классификация основных сегментов рынка нового поколения технологий связи 19

1.1.1. Сети 5G 24

1.1.2. Private 5G 27

1.1.3. NB-IoT 28

1.1.4. LoraWAN 29

1.1.5. SigFox 30

1.1.6. XNB 31

1.1.7. NB-Fi 32

1.1.8. Wi-Fi 6 33

1.1.9. Li-Fi 34

1.1.10. Bluetooth 5 35

1.1.11. WiMax 2 37

1.1.12. VSAT 37

1.1.13. ESIM 39

1.1.14. Тактильный интернет 39

1.2. Текущее и потенциальное воздействие рынка нового поколения технологий связи на бизнес и общество 46

1.3. Драйверы и направления развития технологий связи 61

1.4. Анализ уровня готовности ключевых технологических решений 67

Глава 2. Анализ рынка нового поколения технологий связи в России и мире (Северная Америка, Европа, Азия) 79

2.1. Анализ объема и динамики сегментов рынка в мире 79

2.1.1. WWAN 79

2.1.2. WLAN 90

2.1.3. WMAN 95

2.1.4. WPAN и WBAN 96

2.1.5. V2X 98

2.2. Объем и динамика сегментов рынка в России 101

2.3. Анализ драйверов и барьеров развития рынка 104
2.4. Анализ ключевых тенденций развития рынка в средне- и долгосрочной перспективе 117
2.5. Оценка спроса на продукцию рынка нового поколения технологий связи и влияющих на него факторов.....127
2.6. Анализ сделок M&A на рынке 139
2.7. Анализ венчурных сделок на рынке 146
Глава 3. Анализ деятельности компаний рынка нового поколения технологий связи в России и мире 156
3.1. Анализ конкурентной среды и структуры рынка.....156
3.1.1. Мир 156
3.1.1. Северная Америка 157
3.1.2. Европа.....161
3.1.3. Азия.....167
3.1.4. Россия 171
3.2. Стратегии ключевых игроков рынка 174
Глава 4. Рекомендации по развитию рынка нового поколения технологий связи в России. Оценка перспективных направлений развития для НТИ «Автонет» 178
4.1. Перспективные рыночные ниши для компаний Национальной технологической инициативы «Автонет» 178
4.2. Направления для преодоления технологических, экономических и социально-политических ограничений 190
4.2.1. Технологические ограничения 190
4.2.2. Экономические ограничения.....191
4.2.3. Социально-политические ограничения 193
4.3. Рекомендация по внедрению подходов к определению эффективности современных бизнес-моделей и продуктов 197
Список литературы.....201

Введение

Цифровая трансформация экономики создает не только возможности для компаний по совершенствованию процессов и продуктов. В процессе трансформации экономики возрастает роль технологий связи. Для реализации решений в области Интернета вещей, автономного вождения, умного города и ряда технологий Индустрии 4.0 необходимы надежная и высокоскоростная передача данных, широкий охват сетью, низкое время задержки. Постепенно формируется рынок технологий нового поколения связи, которые включает в себя технологические решения, позволяющие удовлетворить потребности цифровой экономики.

Особую актуальность технологические решения в сфере нового поколения связи имеют для развития концепций автономного вождения, умного города, Интернета вещей. Транспортная система будущего включает в себя масштабную передачу данных между различными транспортными устройства, коммуникации между транспортными средствами и объектами инфраструктуры и т.д. Для обеспечения данного функционала необходимо массовое внедрение технологий нового поколения связи, включая сети 5G и решения в сегменте LPWAN.

Настоящее исследование посвящено вопросу изучения состояния и перспектив развития рынка нового поколения технологий связи в целом, а также отдельных его сегментов. Исследование реализовано в целях экспертно-аналитической поддержки Национальной технологической инициативы «Автонет» и реализации соответствующего Плана мероприятий («Дорожной карты»).

В рамках исследования были решены следующие задачи:

1. дать общую характеристику продуктов рынка нового поколения технологий связи в России и мире;
2. провести анализ рынка нового поколения технологий связи в России и мире;

3. проанализировать деятельность компаний рынка нового поколения технологий связи в России и мире;
4. сформировать рекомендации по развитию рынка нового поколения технологий связи в России.

Основные выводы

Ниже приведены ключевые выводы относительно текущего состояния рынка технологий связи нового поколения и перспектив его развития, сформированные по итогам проведенного исследования.

1. Современный рынок нового поколения технологий связи можно разделить на 7 сегментов по критерию масштаба сети: WWAN, LPWAN, WLAN, WPAN, WMAN, спутниковые технологии связи, BAN. Ряд технологий (особенно в сегментах WWAN, LPWAN, WLAN) являются сквозными и оказывают мощное всестороннее воздействие на экономику и общество. В частности, новые технологии связи основой для развития концепции Интернета вещей.

1. Развитие рынка нового поколения технологий связи оказывает текущее и потенциальное воздействие на бизнес и общество по ряду направлений, в числе которых важно отметить стимулирующее воздействие на экономический рост в развитых и ряде развивающихся странах, оптимизацию производственных процессов, решение проблемы цифрового разрыва, изменение моделей потребления информации, массовое распространение новых видов цифровых технологий, таких как туманные вычисления (англ. Fog computing) и граничные вычисления с множественным доступом (англ. MEC computing).
2. По результатам оценки уровня готовности ключевых технологий связи в России и в мире был сделан вывод, что некоторые сегменты связи в России отстают от мирового уровня. К таким технологиям следует отнести сети 5G, Li-Fi, Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax), прямой Wi-Fi, ZigBee, Private 5G, межмашинные коммуникации (M2M), коммуникация близкого поля (NFC), Bluetooth. Некоторые субтехнологии соответствуют мировому уровню готовности: LPWAN, радиочастотная идентификация

(RFID), спутниковый широкополосный доступ, беспроводная передача электроэнергии, лазерная передача данных, высокочастотные антенные установки с усилением.

3. WWAN является наиболее крупным сегментом рынка нового поколения технологий связи, т.к. содержит сквозные технологии, оказывающих масштабное воздействие на многие сферы экономики и общества в целом. Ожидается, что в сегменте глобальных сетей в перспективе ближайших 5-8 лет будут играть технологии нового стандарта мобильной связи 5G. Доля подключений к сети 5G в совокупном числе мобильных подключений составит 21% к 2025 году, то есть 1,8 млрд. подключений.
4. Роль сетей 5G в Китае будет ключевой в перспективе ближайших 5 лет. Данная тенденция в целом схожа с рынком Северной Америки, где доля сетей 5G в общем числе мобильным подключений составит 51% в 2025 году. Повышение роли сетей 5G в Китае будет происходить за счет снижения доли подключений к сетям 4G. Прогнозируется, что в Китае доля подключений к сетям 4G сократится с 82% в 2020 году до 52% в 2025 году. Для Европы доля сетей 5G составит 35% от совокупных мобильных подключений, для АТР (без Китая) 12%, для стран СНГ 14%. Сети 5G не запущены или находятся в стадии первичной тестовой эксплуатации в России и других странах СНГ в настоящее время. Прогнозируется, что к 2025 году доля подключений к сетям 5G составит 14% от всех мобильных подключений. Это является относительно небольшим значением по сравнению с наиболее развитыми регионами мира и соответствует уровню стран АТР (за исключением Китая).

5. Доступ к сетям 5G в перспективе до 2025 года будет предоставлен в большинстве стран мира. В наиболее развитых странах запуск коммерческих сетей 5G либо уже реализован, либо запланирован. Следовательно, масштаб реализации данной технологии связи является достаточно значимым, чтобы оказать всестороннее воздействие на глобальную экономику. В то же время только в нескольких странах произошел фактический запуск сетей 5G (в первую очередь, лидерами являются США, Канада, Австралия, Китай, Франция, Германия, Испания). Для России, Индии, Мексики и ряда других стран сети 5G находятся на этапах тестирования и запуска.
6. В сегменте локальных энергоэффективных сетей (LPWAN) лидирующей технологией является LoRa – на нее приходится 44% всех LPWAN подключений. Второе место занимает технология NB-IoT (37%). На долю SigFox приходится 4,4% всех подключений в мире. NB-IoT является одной из наиболее перспективных технологий в сегменте LPWAN. Согласно существующим прогнозам, число подключений на основе NB-IoT будет доминировать в структуре LPWAN подключений на протяжении 2021-2023 гг. (43% в 2023 году).
7. Совокупный текущий размер рынка WLAN, рассчитанный на основе выручки компаний в данном сегменте, оценивается в 6,35 млрд. долл. в 2020 году. Среднегодовой темп роста глобального рынка WLAN на протяжении 2020-2026 гг. составит 26%. При этом, по оценкам специалистов, размер рынка WLAN составит 40 млрд. долл. в 2026 году. Лидирующим регионом является Северная Америка, по данным за 2019 год – рынок данного региона составляет 27,7% от глобального. На втором месте находится Европа (22%), на третьем – страны АТР (22%).

8. Ключевым рынком в сегменте WMAN является рынок технологий связи ближнего радиуса (WiMax). Размер рынка технологий WiMax оценивается в 1,89 млрд. долл., по данным за 2021 год. Среднегодовой темп роста данного рынка составляет 14% на протяжении 2021-2026 гг.
9. Среди технологий WPAN и WBAN наиболее развитой является Bluetooth. Согласно прогнозам, объем продаж Bluetooth устройств составит 6,4 млрд. шт. в 2025 году. Среднегодовой темп роста данного рынка составляет 8,3%.
10. В результате анализа факторов, определяющих развитие рынка технологий связи в кратко - и среднесрочной перспективе, были определены несколько ключевых драйверов: цифровизация глобальной экономики, массовое внедрение и адаптация новых инфраструктурных технологических решений, спрос на технологические решения Интернета вещей, стимулирующая роль игровой индустрии, внедрение концепции умного города, рост спроса на технологию «умного дома». Отдельным образом стоит отметить позитивное влияние на динамику рынка технологий связи такого фактора, **как наблюдаемое восстановление мировой экономики после негативных последствий пандемии COVID-19.** В числе основных барьеров развития технологий связи нового поколения были выделены: необходимость создания дорогостоящей инфраструктуры, массового внедрения и адаптации новых инфраструктурных технологических решений, низкий уровень готовности к рискам крупных технологических игроков (включая BigTech компании) по причине нестабильности экономического роста в мире. Также были выделены такие барьеры, как инерционность поведения большей части корпоративных и частных клиентов на рынке связи, риск слишком

высокой стоимости управления новой ИТ-инфраструктурой и приложениями в компаниях, внедряющих новые технологии связи, дефицит специалистов, имеющих навыки, знания и опыт в сфере внедрения новых технологических решений.

11. В числе тенденций развития рынка в средне- и долгосрочной перспективе были выделены следующие: формирование экосистемы сетей 5G на крайне высоких частотах (30-300 ГГц) (миллиметровые волны), рост популярности частных сетей, рост спроса на более надежные общественные сети, рост роли Северной Америки в сегментах WWAN и WLAN технологий, распространение элементов концепции Bring Your Own Device на практике. Также были выделены такие тенденции, как рост спроса на Bluetooth с низким энергопотреблением, рост роли стран АТР в сегменте WPAN технологий, запуск сетей, согласующихся с концепцией устойчивого развития. Важно отметить, что формирование экосистемы сетей 5G на крайне высоких частотах влияет не эффективность реализации решений в области Интернета вещей.
12. Ключевые факторы, которые формируют спрос на рынке нового поколения технологий связи – это уровень развития инфраструктуры, готовность потребителей, разнообразие мобильных услуг и контента. По результатам анализа этих факторов был сделан вывод, что развитие технологической инфраструктуры в России находится на низком уровне. Развитие мобильных услуг находится также на относительно низком уровне по сравнению с другими регионами мира. При этом готовность потребителей к новым технологиям связи оценивается на крайне высоком уровне, что связано со значительными показателями доступности Интернет-технологий и значительным числом

абонентов мобильного Интернета. Лидирующим регионами является Северная Америка и АТР.

13. Рассматривая такой аспект развития рынка, как динамику венчурных инвестиций венчурных инвестиций на рынке, была выявлена тенденция увеличения числа сделок между государственным и частным секторами. В качестве примеров можно отметить приобретение испанской телекоммуникационной компании Masmovil компаниями Providence, Cinven и KKR, сделку Altice Europe и ее мажоритарного акционера Патрика Драхи, приобретение компанией iliad польского оператора Play. Эти сделки отражают различные варианты взаимодействия государства и частного сектора, в которых частные инвесторы или их инвестиционные инструменты напрямую воздействуют на бизнес государственных компаний.
14. Общее число компаний на рынке нового поколения технологий связи в мире составляет 8937 в 2021 году. Наибольшее число компаний расположено в Северной Америке (5025). На втором месте находится Европа (2568 компаний). В Азии расположено 1271 компаний, в России – 73.
15. На основании результатов проведенного анализа конкурентных стратегий мировых компаний-лидеров были выделены 4 наиболее распространенные стратегии на глобальном рынке нового поколения технологий связи: запуск комплексных (End-to-End) решений на основе стратегических партнерств, агрессивная стратегия поглощений инновационных компаний, фокус на внутреннем рынке, развитие международных проектов. Так, наблюдаемое во всем мире поглощение крупными компаниями технологических стартапов позволяет корпорация получать необходимые компетенции для развития технологий связи.

16. Были разработаны наиболее перспективные рыночные ниши для компаний Национальной технологической инициативы «Автонет»: развертывание сетей 5G на крайне высокий частотах, частные сети 5G, разработка оборудования для реализации технологии NB-IoT в России, разработка микросхем Wi-Fi 6, а также программного обеспечения для роутеров и точек доступа. Также были выявлены такие ниши, как разработка комплексных решений для применения Bluetooth с низким энергопотреблением, разработка оборудования Li-Fi, разработка программного обеспечения для мультифункциональной системы спутникового Интернета вещей. Данные рыночные ниши характеризуются различными этапами цепочки создания стоимости услуг.
17. Были проанализированы технологические, экономические и социально-политические ограничения для реализации проектов на рынке технологий нового поколения связи на российском рынке: высокая неоднородность и многокомпонентность архитектуры сетей 5G, дефицит располагаемых инновационных технологий, нехватка опыта реализации инновационных проектов, высокие затраты на развертывание сетей 5G, дефицит финансовых ресурсов в условиях низких темпов роста экономики России и стагнации платежеспособного спроса, риск низкой окупаемости бизнес-моделей по причине наличия инновационных рисков проектов. Также важно выделить такие ограничения, как отсутствие доступа к необходимым диапазонам частот, наличие строгих регулятивных правил в сфере запуска сетей 5G, социальное напряжение по поводу распространения сетей 5G. Были предложены направления для преодоления данных ограничений, включая создание экосистемы инноваций для масштабного развертываний публичных сетей 5G совместно с

другими сетями (в частности, с частными сетями 5G), реализация стратегии развития международных проектов, внедрение подходов к более точному определению эффективности современных бизнес-моделей и продуктов. Также эффективными в плане развития рынка представляются такие меры, как разработка прозрачной политики по управлению частотами с пошаговым планом по освобождению определенных диапазонов, внедрение современных антенных систем при одновременном расширении санитарно-эпидемиологических норм, регламентирующих оборудование на базовых станциях, реализация PR кампании, объясняющей механизм работы сетей 5G.

18. Был сформирован ряд рекомендаций по поводу внедрения наиболее подходящих методик к анализу эффективности бизнес-моделей при разработке решений в сфере технологий нового поколения связи на российском рынке. Данные рекомендацию включают обязательное применение сценарного анализа при моделировании бизнес-модели для повышения качества принятия решений в условиях неопределенности, внедрение контроллингового подхода к построению бизнес-модели, при котором реализуется расчет и мониторинг показателей эффективности бизнес-модели для каждой группы стейкхолдеров. Также предлагается применение метода реальных опционов и метода нечетко-множественных описаний для учета неопределенности при оценке эффективности продукта, внедрение методов имитационного моделирования для построения более точных проектов бизнес-моделей. Применение данных подходов может быть осуществлено в комплексе, т.к.

сравнение результатов нескольких моделей даст больше информации для принятия решения о выборе бизнес-модели.

Методология исследования

При проведении исследования использовались количественные и качественные методы анализа. На основе статистических методов анализа были проанализированы актуальные данные, касающиеся развития рынка технологий нового поколения связи в период с 2016 г. по 2021 г. Применение статистического анализа позволило выявить основные тенденции развития рынка технологий нового поколения связи в мире и в отдельных регионах мира, выявить специфические особенности развития данного рынка в Северной Америке, Азии, Европе и в России.

В рамках макроэкономического анализа было проанализировано состояние рынка технологий нового поколения связи в Северной Америке, Азии, Европе и России. Данный анализ имел важное значение при анализе драйверов и барьеров развития рынка, а также при анализе спроса на продукцию этого рынка.

Для анализа уровня готовности ключевых технологических решений применялись 2 метода: анализ хайп-цикла Гартнер и оценка уровня технологической готовности решения. Согласно методологии Гартнер, технологическая инновации проходит 5 этапов: технологический триггер, пик чрезмерных ожиданий, избавление от иллюзий, преодоление недостатков и плато продуктивности. Наиболее инновационные решения рынка технологий нового поколения связи были оценены в рамках данной методологии.

Основные технологические решения рынка технологий нового поколения связи были оценены по методологии уровня технологической готовности. Данный метод применяется для усредненной оценки способности технологии быть имплементированной в массовом масштабе.

Среди качественных методов анализа в целях изучения текущей конъюнктуры рынка применялся метод классификации и опрос экспертов. С помощью метода классификации было проведено разделение рынка технологий нового поколения связи на несколько базовых сегментов для

дальнейшего анализа каждого сегмента. Данные, полученные по итогам опроса экспертов, позволили оценить уровень технологической готовности основных технологических решений на рынке технологий нового поколения связи.

Важную роль играли отчеты международных организаций (в частности GSMA, Международный союз электросвязи), аналитических агентств (PwC, McKinsey&Company). На основе данных аналитических отчетов были выявлены перспективные рыночные ниши на рынке технологий нового поколения связи, а также тенденции на данном рынке.

При анализе венчурных инвестиций в компании рынка технологий нового поколения связи был использован метод группировки. Источником данных служила международная статистическая база данных агентства CrunchBase.

Также был проведен анализ следующих источников информации:

1. презентационные материалы, выпущенные в рамках проведения отраслевых конференций;
2. отраслевые прогнозные отчеты (Grand View Research, Market Research и др.);
3. отечественные исследования в рамках межотраслевых проектов (Атлас сквозных цифровых технологий России, разрабатываемый АНО «Цифровая экономика»);
4. официальные сайты компаний, занимающихся практической разработкой технологий нового поколения связи. Данный источник играл важную роль при анализе продукции и бизнес-моделей компаний на рынке;
5. статьи в научных журналах теоретического и практического характера;
6. статьи в деловых изданиях и других средствах массовой информации.

Глава 1. Общая характеристика продуктов рынка нового поколения технологий связи в России и мире

1.1. Описание и классификация основных сегментов рынка нового поколения технологий связи

Цифровизация глобальной экономики сопровождается формированием рынка нового поколения технологий связи. Данные технологии являются фундаментальной основой для развития цифровой экономики, их развитие является необходимым условием для обеспечения устойчивых процессов цифровой трансформации отраслей и внедрения различного типа инновационных технологических решений.

Существуют различные способы организации технологий передачи данных. Так, выделяют проводную и беспроводную связь. В настоящее время однозначно можно утверждать, что технологии связи беспроводные являются наиболее перспективными в аспекте развития цифровой экономики, так как именно их развитие определяет внедрение новейших технологических решений и концепций.

Согласно ГОСТ Р МЭК 62657-2-2016[1], беспроводная связь – это «связь, при которой электромагнитные излучения используются для передачи информации без использования проводов или оптоволокна». Данный документ также определяет беспроводную сеть связи как «решение беспроводной связи (то есть конкретная реализация или вариант беспроводной системы связи), состоящее как минимум из двух беспроводных устройств». Совокупность взаимосвязанных элементов, обеспечивающих беспроводную связь, формируют систему беспроводной связи[2].

[1] ГОСТ Р МЭК 62657-2-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Сети промышленной коммуникации. Беспроволочные коммуникационные сети. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200135802
[2] ГОСТ Р МЭК 62657-2-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Сети промышленной коммуникации. Беспроволочные коммуникационные сети. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200135802

В основе технологических решений в сфере беспроводной связи могут выступать различные носители:

1. радиоволны;
2. инфракрасное излучение;
3. оптические излучение;
4. лазерное излучение.

Важно определить понятие мобильной связи. Мобильная связь – вид телекоммуникаций, при котором голосовая, текстовая и графическая информация передается на абонентские беспроводные терминалы, не привязанные к определенному месту или территории. Различаются спутниковая, сотовая, транкинговая и др. виды мобильной связи. Мобильная связь основывается на технологиях беспроводной связи.

Согласно подходу Международного союза электросвязи[3], технологии беспроводной связи разделяются на пять групп в зависимости от масштаба сети:

1. WWAN – это беспроводная глобальная сеть, Охват WWAN сети может достигать территорий нескольких стран. WWAN сеть включает в себя большое число узлов связи. Основными сегментами в структуре сетей являются WWAN//LPWAN и спутниковые технологии связи (СТС).

LPWAN представляет собой сети дальнего радиуса. Такие сети достаточно часто используются для обеспечения работы продуктов на базе Интернета вещей. В частности, к подобным сетям можно отнести третье поколение мобильной связи (3G), четвертое поколение (4G) и пятое поколение (5G).

Технологии спутниковой связи основаны на передачу сигнала между между космическими аппаратами и наземным оборудованием . К данным

[3] International Telecommunication Union. Proceedings of ITU-T Kaleidoscope 2010: Beyond the Internet? - Innovations for future networks and services. URL: https://www.itu.int/pub/T-PROC-KALEI-2010

технологиям можно отнести спутниковое широкополосную связь, спутниковый Интернет вещей и спутниковую персональную связь.

Существующие сети классифицируются по масштабу действия. Ниже представлены основные 4 выделяемых типа:

1. WMAN – беспроводная городская вычислительная сеть, функционирующая в масштабе одного города. В рамках данных сетей широкополосный доступ предоставляется посредством радиоканала. Наиболее совершенной технологией в этом сегменте является WiMax 2, которая позволяет достигать пропускной способности до 1 Гбит/с;
2. WLAN – представляет собой беспроводную локальную связь, которая применяется для обеспечения охвата относительно небольшой территории (например, в рамках одного офиса, одного здания). В частности, к данным технологиям можно отнести Wi-Fi и Li-Fi);
3. WPAN – это беспроводная персональная связь, выполняющая функцию обеспечения связи двух устройств;
4. WBAN – это нательная компьютерная сеть. На практике WBAN сети обычно являются частью беспроводной персональной сети (WPAN).

В соответствие с отечественным[4] и международным[5] подходами, в качестве наиболее перспективных технологий связи нового поколения мы рассматриваем следующие технологии:

1. сети 5G;
2. Massive MIMO;
3. Технология формирования луча;

[4] Атлас сквозных цифровых технологий России. URL: https://ict.moscow/research/atlas-skvoznyh-cifrovyh-tehnologiy-rossii/

[5] ITU. Trends in telecommunication regulatory incentives to achieve digital opportunities. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-TTR.17-2016-PDF-E.pdf

4. Технология D2D;
5. Private 5G;
6. NB-IoT;
7. LoraWAN;
8. SigFox;
9. XNB;
10. Технологии спутниковой связи (VSAT, ESIM);
11. NB-Fi;
12. Wi-Fi 6;
13. Li-Fi;
14. Сеть именованных данных;
15. Bluetooth;
16. Тактильный интернет;
17. VSAT;
18. ESIM;
19. WiMax 2;
20. Тестирование сетей 6G.

На рисунке ниже сегментация технологий связи по масштабу данных технологий.

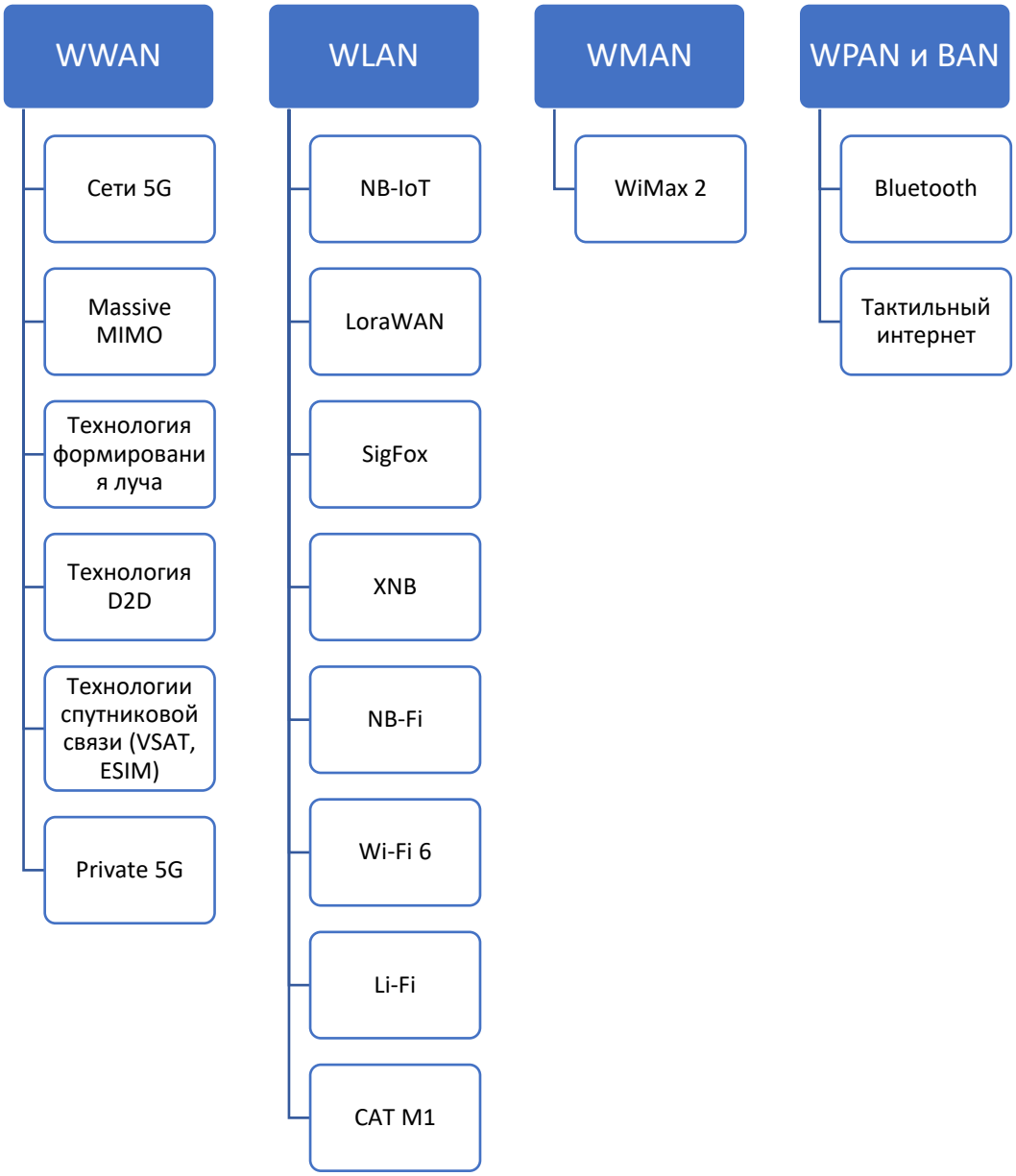


Рисунок 1.1. Группировка технологий нового поколения связи по сегментам

Источник: Атлас сквозных цифровых технологий России[6], ITU[7]

Далее данные технологии будут рассмотрены подробнее.

[6] Атлас сквозных цифровых технологий России. URL: https://ict.moscow/research/atlas-skvoznyh-cifrovyh-tehnologiy-rossii/

[7] ITU. Trends in telecommunication regulatory incentives to achieve digital opportunities. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-TTR.17-2016-PDF-E.pdf

1.1.1 Сети 5G

Таблица 1.1. Сети 5G

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	2,5 - 3,8 ГГц
Скорость передачи данных	до 10 Гбит/с
Задержка передачи сигнала	1-5 мс
Расстояние передачи сигнала	до 3,8 км

5G сети представляют собой новое поколение мобильной связи, характеризующееся более продвинутыми параметрами по сравнению с сетями 4G. В понятие 5G также входят принципы и концепции, описывающие особенности организации мобильной сети нового поколения. Данные сети основаны на стандартах 5G/IMT-2020, которые разрабатываются Международным Союзом Электросвязи. Важность исследования и развития 5G сетей заключается в том, что данные сети потенциально позволяют создавать и масштабировать экосистемы для инноваций в сфере Интернета вещей.

5G использует широкий спектр частот — от 40 до 100 МГц в диапазоне 3,4 – 3,8 ГГц. Это обеспечивает скорость передачи данных до 25 Гбит/с. Пятое поколение отличается минимальными задержками передачи сигнала — около 1 – 5 мс. Пятое поколение отличается минимальными задержками передачи сигнала — около 1 – 5 мс.).

Важной технологической особенностью сетей 5G является выделение миллиметровые частоты от 24 ГГц для широкополосного мобильного доступа. Данный подход позволяет существенно повысить скорость передачи информации по сравнению, например, с оптико-волоконным кабелем (более чем в 10 раз).

Стандартизация сетей 5G/IMT-2020 практически полностью закончена в 2021 году. В частности, сети 5G успешно внедрены в ряде городов США

(например, Лос-Анджелес), в Великобритании (Лондон), Южной Корее, Германии (Берлин), Китае и др.

Важной особенностью 5G сетей является их гетерогенность, под которой понимается объединение нескольких сетей в рамках одной сети. Гетерогенность на практике используется для того, чтобы улучшить качество связи для территорий, находящихся на границе зоны обслуживания. Технология сетей 5G подразумевает взаимодействие множества ресурсов, гетерогенных по своей природе и расположенных в многочисленных и географически удаленных административных доменах. Улучшение качества связи достигается за счет возможности одновременного использования сетей радиодоступа на различных радиотехнологиях 5G/4G/WLAN.

Рисунок 1.2. Эволюция поколений сетей мобильной связи[8]

Как видно из представленной ниже таблицы, сети 5G качественно отличаются от сетей предыдущего поколения.

Таблица 1.2. Сравнения сетей разных поколений

	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G	5G

[8] Стандарты и поколения сотовой связи. URL: https://odbs.ru/blog/sotovaya-svyaz/standarty-i-pokoleniya-sotovoy-svyazi/

Поколения сотовой связи:							
Стандарты сотовой связи:	**AMPS, TACS, NMT**	**TDMA, CDMA, GSM, PDC**	**GPRS, EDGE (2.75G), 1xRTT**	**WCDMA, CDMA2000, UMTS**	**HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+**	**LTE-Advanced, WiMax Release 2 (IEEE 802.16m), WirelessMAN-Advanced**	**IEEE…..**
Преимущества:	Аналоговый стандарт	Цифровой стандарт, поддержка СМС	Пакетная передача данных, увеличение скорости	Увеличение емкости и скорости до 2 Мбит/с	Увеличение скорости	Увеличение емкости, IP ориентированная сеть, поддержка мультимедиа, увеличение скорости до сотен Мбит/с	Скорость от 1 Гбит/с, среднее количество одновременных пользователей - 1 млн на км², задержка до 1 мс, повышенная энергоэффективность
Скорость передачи данных:	1,9 кбит/с	9,6 - 14,4 кбит/с	115 кбит/с (1 фаза), 384 кбит/с (2 фаза)	до 3,6 Мбит/с	до 42 Мбит/с	100 Мбит/с - 1 Гбит/с	До 10 Гб/с
Рабочая частота (мГц):		900,1800.		900,1800,2100.		800,1800,2600.	???

Практическое внедрение сетей 5G основывается на определенных технологических решениях:

1. Massive MIMO – инновационная технология, которая использует многоэлементные цифровые антенные решетки, в результате чего число пользовательских терминалов является относительно небольшим по сравнению с числом антенн мобильной станции. Главной особенностью, отличающей Massive MIMO от стандартной антенны, является возможность управления множеством антенн, направленных на какого-либо пользователя;

2. Технология формирования луча (англ. beamforming) применяется для более эффективного направления радиоволн на цель. В рамках одного радиоканала применяются сантиметровые и миллиметровые диапазоны длины волн, за счет чего происходит рост емкости каналов;
3. Технология D2D (англ. device-to-device). Данная технология обеспечивает прямой обмен данных между устройствами, которые находятся в рамках радиовидимости, без непосредственного участия сети 5G. Вместо этого, обмен данными требует только передачу сигнального трафика через сети 5G. Применение технологии D2D позволяет существенно разгрузить сеть при подключении множества устройств.

1.1.2 Private 5G

Таблица 1.3. Private 5G

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	24-28 ГГц
Скорость передачи данных	до 20 Гбит/с
Задержка передачи сигнала	1 мс
Расстояние передачи сигнала	до 4,8 км

Среди наиболее перспективных также можно отметить такое технологическое решение, как частные корпоративные сети Private LTE/5G. Данные сети используются для реализации задач автоматизации на предприятиях. Главные преимущества этого решения заключаются в снижении издержек использования информационно-коммуникационных ресурсов компании, повышение безопасности информационной системы, получение дополнительных возможностей в реализации систем Интернета вещей.

Сети LPWAN также предлагают новые возможности для развития решений Интернета вещей. Далее будут рассмотрены наиболее перспективные решения на основе LPWAN. Именно эти стандарты являются перспективными в аспекте реализации межмашинных коммуникаций в перспективе 5-8 лет.

1.1.3 NB-IoT

Таблица 1.4. NB-IoT

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	1710 - 1785 МГц
Скорость передачи данных	26-62 Кбит/с
Задержка передачи сигнала	1.6-10 с
Расстояние передачи сигнала	1-10 км

NB-IoT (англ. Narrow Band Internet of Things) – стандарт сотовой связи для устройств телеметрии с низкими объёмами обмена данными. Разработан консорциумом 3GPP в рамках работ над стандартами сотовых сетей нового поколения. Первая рабочая версия спецификации представлена в июне 2016 года. Главной технологической особенностью устройств, работающих в стандарте NB-IoT, является высокая энергоэффективность – данные устройства могут находиться в рабочем режиме несколько лет без подзарядки.

Среди других важных особенностей технологии NB-IoT можно выделить следующее :

- способность работы на низких уровнях сигнала;
- работоспособность при высоком уровне шумов;
- 3 способа работы: stand-alone (работа на основе выделенного частотного канала), in-band (выделение ресурсов для работы внутри существующей сети LTE), guard-band (работа в защитном интервале в сети LTE).

Данная технология применяется для передачи небольших объемов информации.

Технологии массового интернета вещей (NB-IoT и Cat-M1) сегодня в основном используются для сценариев, требующих подключения множества простых недорогих устройств. Такие устройства не требуют частой подзарядки и высокой пропускной способности. Технологии применяются, в частности, в носимых медицинских устройствах, для логистических целей и отслеживания перемещения товаров, а также для мониторинга состояния окружающей среды и передачи показаний умных счетчиков.

1.1.4 LoraWAN

Таблица 1.5. LoraWAN

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	до 1000 МГц
Скорость передачи данных	50 Кбит
Задержка передачи сигнала	от 2-30 с
Расстояние передачи сигнала	10 км

LoraWAN – это стандарт, который применяется для передачи небольших объемов данных, при этом радиус действия составляет до 15 км. Данный стандарт является открытым, то есть документация доступна в открытом доступе, чипы для оборудования также продаются в свободном доступе.

Физический уровень LoRa - модуляция, которая обеспечивает связь на большое расстояние. Именно LoRaWAN наиболее сильно влияет на срок службы батареи узла, емкость сети, качество обслуживания, безопасность и разнообразие приложений, которые обслуживает сеть.

Большинство развернутых сетей используют архитектуру mesh сети. В ней отдельные конечные узлы пересылают информацию других узлов, чтобы увеличить дальность связи и размер соты сети. Да, это увеличит диапазон, но

кроме того добавит сложности, снизит емкость сети и сократит срок службы батареи, поскольку узлы получают и пересылают информацию от других узлов, которая, вероятно, для них не имеет отношения. Архитектура типа звезда имеет наибольший смысл для продления срока службы батареи, когда может быть достигнута связь с большим радиусом действия.

В сети LoRaWAN узлы не связываются с определенным шлюзом. Данные, которые передает узел, обычно принимают несколько шлюзов. Каждый из них пересылает полученный пакет на сервер облачной сети через сотовую сеть, Ethernet-сеть, спутниковый сигнал или Wi-Fi. Интеллект и сложность остаются за сетевым сервером, что управляет сетью и будет фильтровать избыточные полученные пакеты, выполнять проверки безопасности, планировать подтверждения через оптимальный шлюз и выполнять адаптивную скорость передачи данных и т. д. Если узел является мобильным или перемещается, передача обслуживания от шлюза к шлюзу не требуется, что является важной функцией для включения приложений отслеживания активов - основной целевой вертикали приложений для Интернета вещей.

Данный стандарт находит применение в телеметрии и телематике и является основой для развития концепции Интернета вещей.

1.1.5 SigFox

Таблица 1.6. SigFox

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	868 МГцс
Скорость передачи данных	100 бит/с
Задержка передачи сигнала	до 20 с
Расстояние передачи сигнала	до 60 км

SigFox – представляет собой технологию, обеспечивающую низкоскоростной обмен данными при относительно низком энергопотреблении. Характеристики данной технологии определяют актуальность ее применения в телеметрии и телематике, а также в рамках концепции Интернета вещей.

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

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

Для связи между устройствами, не требующими большого потребления энергии и генерирующего небольшое количество трафика в день, например, умные счетчики, датчики освещенности, системы пожарной и охранной сигнализации датчики умных парковок и т.д.

1.1.6. XNB

Таблица 1.7. XNB

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	400 МГц - 1 МГц
Скорость передачи данных	от 20 000 до 250 000 бит/с
Задержка передачи сигнала	до 1 с
Расстояние передачи сигнала	до 40 км

XNB (англ. Extended NarrowBand) – это протокол связи на физическом уровне, который используется для обмена данных на больших территориях при необходимости минимизации энергопотребления. Радиус сигнала до 40 км.

На физическом уровне для передачи сигнала в сети «СТРИЖ» используется модуляция DBPSK. Ширина полосы канала передающего устройства при этом составляет 50 Гц, при минимальном битрейте в 50 бод. Узкополосный сигнал в 50 Гц и высокая энергетика на каждый бит передаваемой информации обеспечивает превосходный энергетический потенциал канала связи (link budget) и высокую помехоустойчивость. XNB разработан для обмена данными устройств на больших распределенных территориях с минимальными затратами энергии.

Особенность протокола XNB — высокая проникающая способность. Конструкции зданий не являются серьезной преградой, а передача возможна из подвалов и через толстые стены, там где не «ловит» GSM.

Данный протокол связи находит применение в телеметрии и телематике, то есть служит неким «инструментом» развития концепции IoT.

1.1.7 NB-Fi

Таблица 1.7. NB-Fi

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	915 МГц
Скорость передачи данных	до 25 600 бит/с
Задержка передачи сигнала	до 2 с
Расстояние передачи сигнала	10 км

NB-Fi – протокол связи, предназначенный для передачи небольших объемов данных на больших расстояниях. Также обеспечивает низкое энергопотребление. Радиус сигнала составляет до 50 км.

Устройство или модем с NB-Fi модулем передает данные по радиоканалу на базовую станцию. Базовая станция принимает сигналы от всех устройств в радиусе своего действия, оцифровывает и передаёт на удалённый сервер, используя доступный канал связи (Ethernet или сотовая связь).

Для приема восходящих пакетов (UPLINK-пакетов) данных со стороны базовой станции применяется принцип SDR-систем (англ. - Software Defined Radio, программно-определяемая радиосистема), где входной радиосигнал оцифровывается во всей полосе приема и в дальнейшем подвергается программной обработке.

Данный подход позволяет выполнять демодуляцию и декодирование входных пакетов данных одновременно по всем каналам во всей полосе частот. По сути, в данной системе не существует сетки каналов, пакет данных принимается базовой станцией вне зависимости от частоты, на которой выполнена отправка. Это является ключевым свойством стандарта, позволяющим использовать недорогие генераторы частоты для формирования радиосигнала, что ранее было ограничивающим фактором при использовании узкополосных и сверхузкополосных сигналов.

Данный стандарт разработан в России и имеет высокий потенциал применения в сфере Интернета вещей на отечественных предприятиях.

WLAN сети также являют достаточно перспективными в рамках развития Интернета вещей. Среди данных технологий стоит отметить стандарт IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6). Далее будут рассмотрены наиболее перспективные технологии WLAN сетей.

1.1.8 Wi-Fi 6

Таблица 1.8. Wi-Fi 6

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	1200 МГц

Скорость передачи данных	9,6 Гбит/с
Задержка передачи сигнала	2-6 мс
Расстояние передачи сигнала	1.6 км

Данный стандарт использует технологию OFDMA (ортогональное частотное мультиплексирование), за счет которой достигает рост спектральной эффективности по сравнению с технологиями предыдущего поколения, а также модуляцию 1024-QAM, позволяющую повысить пропускную способность сети. В результате применения более совершенных технологий, сети Wi-Fi 6 могут достигать скорость обмена данными до 11 Гбит/с, а средняя пропускная способность таких сетей существенно превышает пропускную способность сетей Wi-Fi 5 [9].

В дополнение к использованию технологий MIMO и MU-MIMO (используется несколько антенн для приёма и передачи), в стандарте Wi-Fi 6 вводится режим ортогонального частотного мультиплексирования (OFDMA) для улучшения спектральной эффективности и модуляция 1024-QAM для увеличения пропускной способности; хотя номинальная скорость передачи данных только на 37 % выше, чем в предыдущем стандарте IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5). Также ожидается, что Wi-Fi 6 позволит в 4 раза увеличить среднюю пропускную способность за счет более эффективного использования спектра и улучшений для плотного развертывания.

1.1.9 Li-Fi

Таблица 1.9. Li-Fi

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	24-28 ГГц
Скорость передачи данных	до 96 Мбит/сек
Задержка передачи сигнала	до 2 с
Расстояние передачи сигнала	до 10 м

[9] Bhandari H., Devkota B. Next generation of wireless networks: Wi-Fi 6 and 5G. – 2020.

Другим перспективным технологическим решением в рамках WLAN сетей является Li-Fi. Это технология на основе применения видимого света в качестве канала связи. Li-Fi в качестве канала беспроводной передачи данных использует свет в пространстве. За счет ограничения света физическими границами пространства Li-Fi сигналы являются более безопасными по сравнению с радиочастотными сигнала, т.к. Li-Fi сигналы являются более труднодоступными для перехвата. Кроме того, Li-Fi решения характеризуются такими преимуществами, как относительная низкая стоимость внедрения и расширенные возможности для имплементации (например, Li-Fi сигналы могут работать под водой).

В сегменте WLAN также важно отметить WiGig (Wi-Fi подключение с высокой пропускной способностью) и ZigBee, которая представляет собой технологию объединения устройств небольшой мощности в частные сети. В частности, для этого применяются ячеистые топологии. Достаточно перспективным технологическим решением является сеть именованных данных (англ. Named Data Networking). Данная технология представляет собой более эффективную альтернативу для технологии TCP/IP, которая основана на адресации в виде цифровых номеров и клиент-серверной технологии. Сеть именованных данных используют принцип децентрализации при хранении данных, за счет чего решается важная проблема перегруженности Интернет-каналов.

1.1.10 Bluetooth 5

Таблица 1.10. Bluetooth 5

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	2.4 - 2.485 ГГц
Скорость передачи данных	до 50 Мбит/с

Задержка передачи сигнала	до 40 мс
Расстояние передачи сигнала	до 1,5 км

Технологии WPAN сетей являются достаточно развитыми. В частности, ряд стандартов Bluetooth находится на зрелой стадии развития и внедрен на повсеместной основе.

Bluetooth 5.0-5.2 предлагают расширенные возможности для передачи данных между различными устройствами. Последняя спецификация (Bluetooth 5.2) была опубликована в начале 2020 года. Данная версия имеет более высокие параметры энергопотребления, точности определения местоположения устройств, скорости передачи данных.

Новые функции Bluetooth 5.2:

1. улучшенная версия протокола атрибутов ATT — Enhanced Attribute protocol (EATT), который более безопасен, так как использует только шифрованное соединение. EATT поддерживает параллельные транзакции, а также позволяет изменять блок максимальной передачи ATT (MTU) во время соединения. В EATT добавлен новый L2CAP режим безопасного управления потоком — Enhanced Credit Based Flow Control Mode;
2. новый LE Power Control — позволяет устройствам динамически оптимизировать мощность для связи между подключенными устройствами. Приёмники Bluetooth LE теперь могут отслеживать уровень сигнала и запрашивать изменения уровня мощности передачи в подключенных устройствах, как правило, для поддержания оптимального уровня сигнала как с точки зрения качества сигнала, так и с точки зрения снижения энергопотребления;
3. LE Isochronous Channels — функция для поддержки нового стандарта передачи аудио LE Audio, следующего поколения Bluetooth-аудио. Позволяет передавать данные с привязкой ко

времени на одно или несколько устройств для синхронизированной по времени обработки (пример: беспроводные наушники с раздельными приёмниками), а также для параллельной трансляции на неограниченное количество устройств.

1.1.11 WiMax 2

Таблица 1.11. WiMax 2

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	от 2 ГГц до 6 ГГц
Скорость передачи данных	до 1 Гбит/с
Задержка передачи сигнала	до 5 мс
Расстояние передачи сигнала	до 50 км

WiMax 2 – технология, использующаяся для организации беспроводной передачи данных на больших расстояниях. WiMax 2 позволяет передавать данные на расстоянии до 50 км, при этом максимальная скорость передачи данных достигает 1 Гбит/с. Архитектура сетей WiMax предполагает наличие базовых станций, абонентских станций, связывающего оборудования; данная архитектура является достаточно гибкой и масштабируемой.

Далее будут рассмотрены технологии спутниковой связи. Технологии спутниковой связи могут играть существенную роль в применении технологий Интернета вещей в труднодоступных территориях. В частности, спутниковая связь имеет высокий потенциал в арктических регионах.

1.1.12 Сети спутниковой связи на базе VSAT

Таблица 1.12. Сети спутниковой связи на базе VSAT

Характеристика стандарта связи	Значение

Диапазон частот	6/4 ГГц, 14/11-12 ГГц, 30/20 ГГц
Скорость передачи данных	от 100 бит/с до 512 Кбит/с
Задержка передачи сигнала	20-170 мс
Расстояние передачи сигнала	до 3,8 м

Среди технологических продуктов спутниковой связи можно отметить VSAT (англ. Very Small Aperture Terminal), которая представляет собой малую спутниковую земную станцию, пригодную для стационарного использования. Расстояние передачи сигнала является относительно малым (до 3,8 м), при этом достигается достаточно небольшая задержка передачи сигнала (до 170 мс).

По современной классификации к VSAT относятся абонентские спутниковые станции с антеннами диаметром менее 2,5 м, типичными считаются размеры от 1,8 до 2,4 м в С-диапазоне, от 0,9 до 1,8 м в Ku-диапазоне и до 1—1,2 м в Ka-диапазоне. VSAT состоит из двух основных частей — устанавливаемого вне помещения антенного поста, включающего антенну и приёмопередающий блок (англ. ODU, OutDoor Unit — внешний блок), и спутникового модема (англ. IDU , InDoor Unit — внутренний блок)/ Приёмопередающее оборудование (ODU) устанавливается на облучателе в фокусе антенны и передаёт и принимает через спутник модулированные радиосигналы. В состав ODU входят полупроводниковый усилитель (SSPB, BUC), обычно небольшой мощности, до 2-3 Ватт, хотя может быть и больше, и малошумящий приёмный усилитель-конвертер (LNB). LNB и BUC соединяются с облучателем через поляризационный селектор, они принимают и передают сигнал в ортогональных друг другу поляризациях (вертикальной и горизонтальной для линейной, левой и правой для круговой — в зависимости от используемой спутником).

1.1.13 ESIM

Таблица 1.13. ESIM

Характеристика стандарта связи	Значение
Диапазон частот	27,5-29,5 ГГц
Скорость передачи данных	10-15 Мбит/с
Задержка передачи сигнала	до 200 мс
Расстояние передачи сигнала	до 20 м

ESIM (англ. Earth Stations in Motion) – земная станция, которая взаимодействует с геостационарными системами связи и функционирует на движущихся платформах. Данная технология является перспективной, т.к. позволяет достичь относительно высокой скорости передачи данных (до 15 Мбит/с).

В прошлом связь с подвижными платформами обычно осуществлялась спутниковыми системами подвижной спутниковой службы (ПСС) в полосах более низких частот (например, 1,5 ГГц, 1,6 ГГц, 2,1 ГГц и 2,4 ГГц). Ширина полосы частот, доступная отдельным пользователям в этих диапазонах, относительно невелика и обычно составляет от нескольких килогерц до нескольких сотен килогерц. Доступные узкие полосы частот ограничивают достижимые скорости передачи данных от нескольких кбит/с до порядка 700 кбит/с в одном канале.

Скорость передачи данных может увеличиваться при более высоком спросе на широкополосную связь или снижаться для применений, в которых используется меньший диаметр антенн земных станций, при этом она будет оставаться гораздо выше скоростей передачи данных, доступных в существующих системах ПСС. В исследованиях МСЭ рассматривается вопрос о том, как обеспечить более высокие скорости передачи данных, не оказывая негативного воздействия на другие и существующие службы.

Пересекая океаны, морские и воздушные суда находятся вне зоны действия наземных сетей. Для них система, использующая ESIM, может стать решением этой проблемы, обеспечив непрерывное широкополосное соединение для членов экипажа и пассажиров.

ESIM обеспечивают широкополосную связь на круизных лайнерах, самые крупные из которых могут разместить несколько тысяч пассажиров. Кроме того, ESIM могут обеспечивать широкополосную связь для управления работой судна, например для передачи результатов диагностики двигателя, а также для доступа к корпоративной сети и для связи экипажа.

Кроме того, ESIM отвечают требованиям для сухопутных транспортных средств, в частности поездов, автобусов, микроавтобусов, грузовых автомобилей и автодомов, с точки зрения возможности установления широкополосных соединений. Сухопутные ESIM могут обеспечивать возможность установления соединений во всех странах, что особенно полезно в районах, где наземные сети отсутствуют.

Далее будет рассмотрены наиболее перспективная технология в сегменте BAN – тактильный интернет.

1.1.14 Тестирование сетей 6G

6G - шестое поколение мобильной связи, внедрение которого предполагается в 2028—2030 году, на основе стандартов телекоммуникаций, следующих за стандартами 5G/IMT-2020. Точные требования к технологии 6G пока не определены.

В числе требований к сетям 6G специалисты указывают скорость передачи данных от 100 Гбит/с до 1 Тбит/с, при этом для управления сетями будут использоваться системы искусственного интеллекта.

Хотя развертывание сетей 5G едва началось, разработка 6G активно набирает обороты. Научные круги и промышленность уже готовятся к внедрению беспроводных сетей шестого поколения в 2030-е годы. Если сети

5G должны обеспечить скорость передачи данных до 20 Гбит/с и среднюю скорость взаимодействия с пользователем 120 Мбит/с, то для поддержки таких приложений, как голографическая связь и X-реальность (комбинация дополненной, виртуальной и смешанной реальности) эти значения должны достичь 1000 Гбит/с и 1 Гбит/с соответственно. Именно на них будут ориентироваться разработчики сетей 6G.

18 декабря 2021 года Ван Цзяньчжоу, бывший председатель правления оператора China Mobile и старший консультант ассоциации GSMA, заявил, что Китай не планирует останавливаться на 5G и собирается запустить первую сеть 6G уже к 2030 году.

1.1.15 Технологии V2X

Важная технология, связанная с рынком нового поколения технологий связи – это технология V2X. Технология V2X (англ. Vehicle-to-everything) позволяет коммуницировать транспортному средству с другими объектами, подключенными к сети. Датчики транспортного средства выступают в роли каналов передачи данных.

Для описания транспортного средства, отдающего или принимающего сигналы по сети, используется понятие подключенного автомобиля (англ. connected car).

Можно выделить 6 систем взаимодействия в рамках V2X:

1. V2V (англ. vehicle-to-vehicle). Данная система обеспечивает передачу данных между двумя транспортными средствами. При этом человек напрямую не вовлечен в этот процесс. В частности, транспортные средства могут обмениваться информацией о расположении определенных объектов, о скорости движения, о наличие технических неисправностей и т.д.;
2. Vehicle-to-infrastructure (V2I). В рамках данной системы происходит обмен данными между транспортным средством и

объектами инфраструктуры. В частности, автомобили могут принимать и отдавать сигналы светофору, гаражу, транспортным знакам и др.;

3. Vehicle-to-pedestrian (V2P). Эта система обеспечивает взаимодействие транспортного средства с мобильным устройством пешехода. Транспортные средства могут определять скорость движения мобильного устройства, оценивать риски, а также передавать сигналы для избегания возможных аварийных ситуаций;
4. Vehicle-to-home (V2H). Система V2H обеспечивает обмен данными между транспортным средством на основе электродвигателя и устройства для зарядки электромобилям, а также передачи излишней электроэнергии в домашнюю сеть энергетической системы;
5. Vehicle-to-grid (V2G). С помощью данной системы транспортные средства на основе электродвигателя производят подзарядку с возможностью отправления излишней электроэнергии во внешнюю сеть энергосистемы;
6. Vehicle-to-device (V2D). Данная система обеспечивает взаимодействие транспортного средства с другим электронным устройством, который находится в сети подключенного транспортного средства;
7. Vehicle-to-cloud (V2C) основан на подключении к широкополосным мобильным сетям для обмена данными с облаком.

Основные видов систем технологии V2X проиллюстрированы на рисунке ниже.

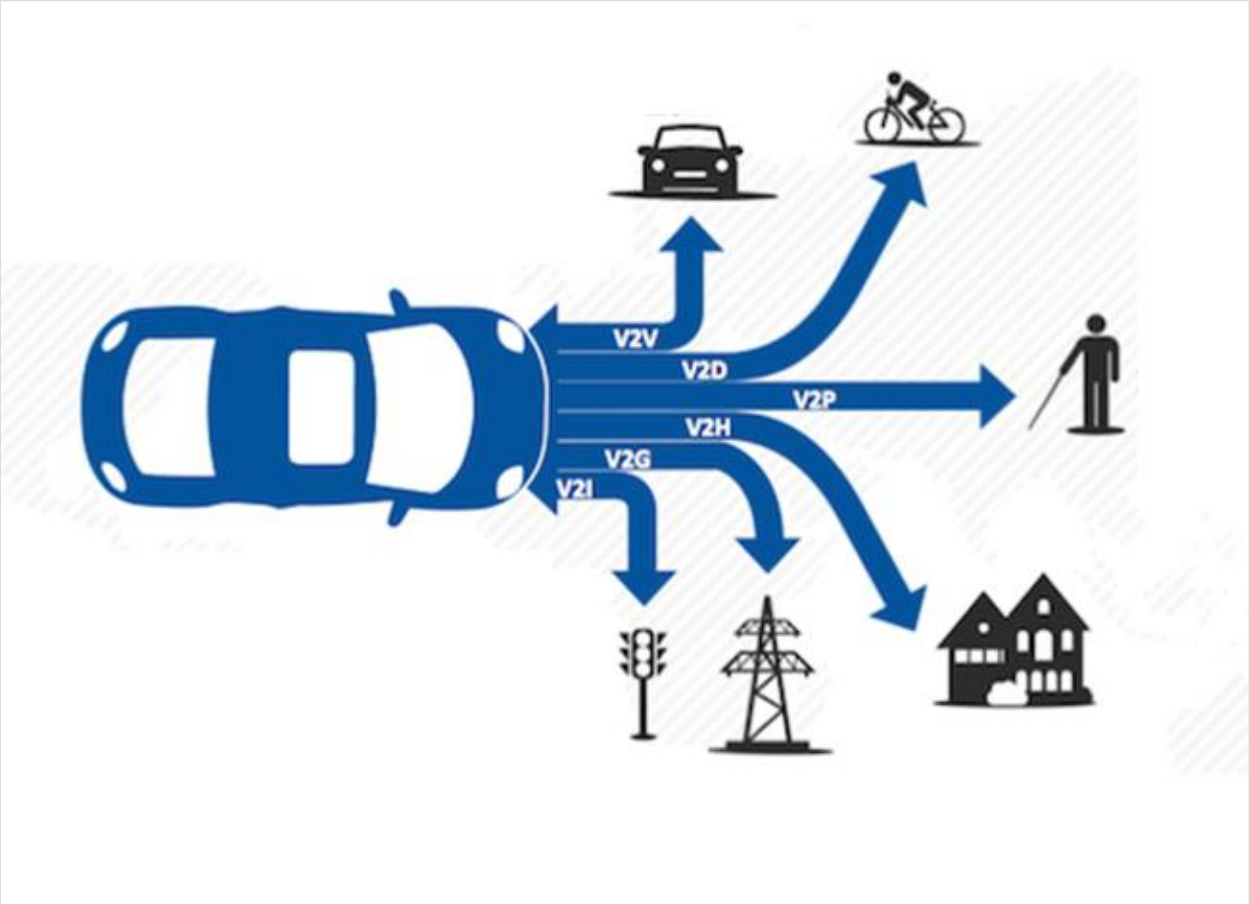


Рисунок 1.3. Виды систем технологии V2X

Источник: Rak R., Kopencova D., Felcan M. [10]

Для полноценной реализации технологии V2X необходимо обеспечение определенных требований к каналу коммуникации:

1. высокая пропускная способность для обработки информации от нескольких источников;
2. низкая задержка для обеспечения моментального обмена данных во время движения;
3. высокая надежность для обеспечения бесперебойной работы устройств.

Данные требования могут удовлетворить сети 5G. Исследователи отмечают разницу в двух режимах работы радиоинтерфейса 5G NR (New

[10] Rak R., Kopencova D., Felcan M. Digital vehicle identity–Digital VIN in forensic and technical practice //Forensic Science International: Digital Investigation. – 2021. – Т. 39. – С. 301-307.

Radio) в аспекте обслуживания систем V2X: автономный режим (англ. Standalone mode) и неавтономный режим (англ. Non-Standalone mode). При этом важно отметить, что существуют основные 2 стандарта внутри типа технологий связи V2X, между которыми в настоящее время развернулась борьба за лидерство – это C-V2X (стандарт, использующий сотовые сети) и ITS-G5/DSRC (стандарт, использующий технологию Wi-Fi). В российской практике проходит испытания стандарт ITS-G5/DSRC.

В случае неавтономного режима устройства транспортных средств подключаются к 5G-NR и передают сигнал через 4G. При автономном режиме сигнал передается напрямую в ядро 5G, в результате чего обеспечивается полный контроль над параметрами сети, повышается производительность и масштабируемость технологических решений. Разница между функционированием моделей V2X между двумя режимами изображена на рисунке ниже.

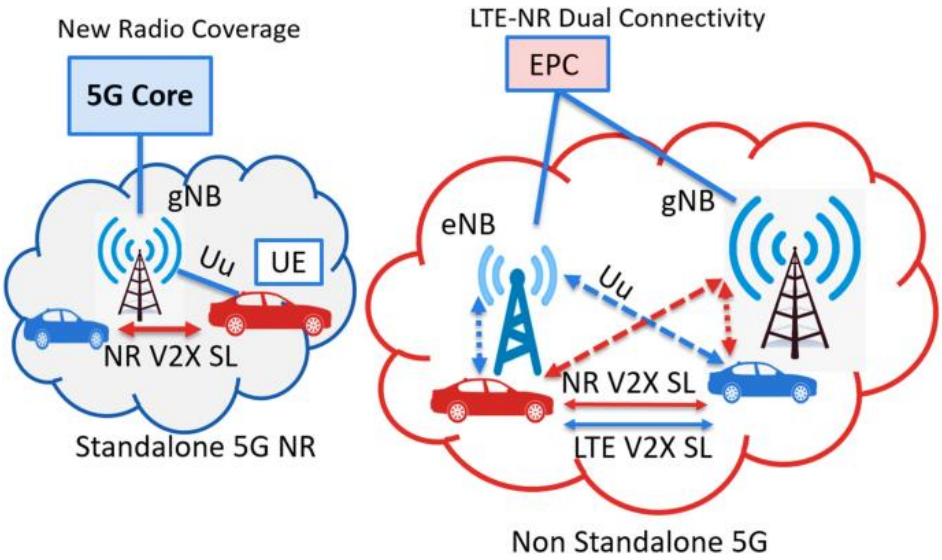


Рисунок 1.4. Разница между функционированием моделей V2X между автономным и неавтономным режимами 5G NR

Источник: Hakeem S. A. A., Hady A. A., Kim H. W. 5G [11]

[11] Hakeem S. A. A., Hady A. A., Kim H. W. 5G-V2X: Standardization, architecture, use cases, network-slicing, and edge-computing //Wireless Networks. – 2020. – Т. 26. – №. 8. – С. 6015-6041.

Достаточно перспективной в плане реализации концепции Интернета вещей и инноваций в сфере транспорта является технология радиочастотной идентификации (англ. Radio Frequency IDentification, RFID). RFID представляет собой способ идентификации объектом на основе использования считывающих радиосигналы устройств и транспондерах (устройств, хранящих данные). Эта технология уже применяется в различных сферах жизни, включая

- промышленность (автоматизация производственных процессов предприятия);
- здравоохранение (мониторинг состояния больных);
- логистика (минимизация случаев краж в помещениях) и др.

1.1.16 Тестирование тактильного интернета

Характеристика стандарта связи	Значение
Скорость передачи данных	2.4 Кбит/с
Задержка передачи сигнала	до 1 м/с
Расстояние передачи сигнала	до 150 км

Перспективной технологией, использующей возможности сетей 5G, является тактильный интернет (англ. Tactile Internet). Тактильный интернет подразумевает передачи тактильных ощущений на расстоянии с минимальной задержкой. При реализации тактильного интернета на больших дистанциях необходимо обеспечить низкий уровень задержки, который может быть реализован только в сетях 5G.

Одним из ранних прототипов на основе тактильного интернета является прототип от Microsoft Azure. В прототипе используются облачные хранилища, компьютерные устройства и смартфоны. Пользователи получают гарнитуру HTC VIVE для визуализации виртуальной реальности и перчатки Gloveone для визуализации тактильных ощущений. Результаты тестирований прототипов

показывают, что технология позволяет минимизировать задержки при реализации приложений[12].

Классификация основных сегментов рынка нового поколения технологий связи, составленная на основе анализа, представлена на рисунке ниже.

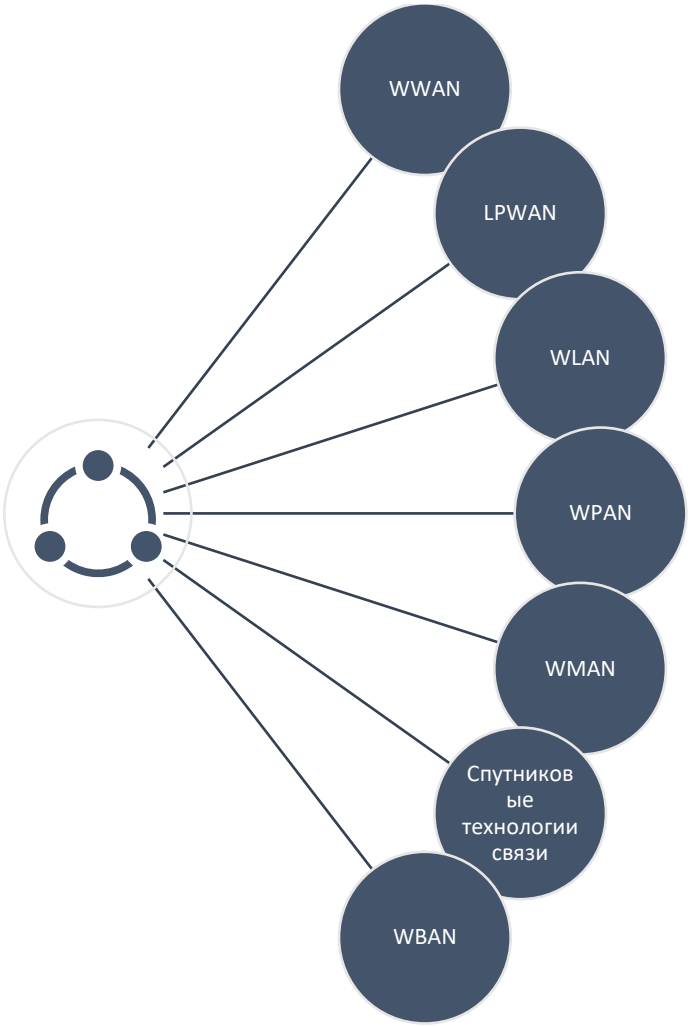


Рисунок 1.5. Классификация основных сегментов рынка нового поколения технологий связи

Источник: составлено автором

1.2 Текущее и потенциальное воздействие рынка нового поколения технологий связи на бизнес и общество

[12] Jebbar, Y., Promwongsa, N., Belqasmi, F., & Glitho, R. H. A Case Study on the Deployment of a Tactile Internet Application in a Hybrid Cloud, Edge, and Mobile Ad Hoc Cloud Environment. IEEE Systems Journal. 2021

В п. 1.1. были выделены технологические решения и стандарты связи, имеющие наибольший потенциал всестороннего воздействия на бизнес-среду и общество в целом. Тем не менее, ряд технологий имеют первостепенное значение и могут рассматриваться как подрывные, сквозные инновации.

Анализируя влияние рынка нового поколения технологий связи на общество, следует отметить следующие наиболее важные его аспекты:

1. доступ к широкополосной связи уже сейчас является необходимым для полноценного взаимодействия с обществом в той же степени, что и доступ к электрической энергии. В большинстве стран мира цифровизация достигла того уровня, когда потеря доступа к высокоскоростному Интернету существенно затрудняет функционирование человека в обществе. Это связано со стремительным развитием Интернет-торговли, переходом многих типов услуг в онлайн формат (например, образовательные услуги), распространение бизнес-моделей на основе онлайн формата. Важно отметить, что пандемия COVID-19 стала мощным драйвером, который определяет еще более высокий уровень издержек функционирование человека без доступа к широкополосной связи;
2. проблема цифрового разрыва, при котором разница в доступе к широкополосной связи между жителями развитых стран и развивающихся стран, будет частично решена в результате дальнейшего снижения издержек на создание инфраструктуры сетей WPAN, WLAN и др. Это снижение будет вызвано совершенствованием технологических решений и использованием экономии на масштабе. Тенденция роста числа абонентов мобильного Интернета среди наименее развитых стран мира наблюдается уже в настоящее время, но дальнейшее развитие рынка нового поколения технологий связи должно привести к

выравниванию доступа к цифровым услугам не только среди жителей различных стран, но и среди представителей различных социальных групп и возрастов;

3. ускорение процессов коммуникации в обществе приводит к изменению моделей потребления информации, которое происходит в настоящее время. Развитие технологий связи создает новые вызовы для современного потребителя информации, т.к. в условиях высокой информационной интенсивности внешней среды на процессы обработки информации поступает дополнительная нагрузка. Пользователи адаптируют свои модели поведения в данных условиях, данная тенденция будет продолжаться. В свою очередь, это приводит к формированию новых запросов в обществе (например, на приложения, фильтрующие контент в Интернете, приложения на основе экспертных оценок и др.);
4. вовлечение новых групп населения в экономику (инклюзивная экономика). Расширение проникновения высокоскоростного мобильного интернета предоставляет возможность все большему числу людей работать дистанционно и осваивать новые профессии.

Такие сегменты рынка нового поколения технологий связи, как WWAN, включая 5G, LPWAN и WLAN, оказывают кумулятивное воздействие на бизнес по следующим направлениям:

1. формирование нового рынка окажет стимулирующее воздействие на экономический рост в развитых и ряде развивающихся странах. Развитие нового поколения технологий связи станет базой для появления интегрированной отрасли, создающей добавленную стоимость и выступающей в качестве драйвера экономического

роста. Уже сейчас средства инвесторов направлены на компании данного рынка;

2. оптимизация производственных процессов. Помимо моделей V2X, рассмотренных в параграфе 1.1, рынок нового поколениях технологий связи оказывает воздействие на межмашинные коммуникации в целом (M2M). Промышленный Интернет вещей относится исследователями к радикальным инновациям[13]. В данной сфере проявляется текущее воздействия рынка нового поколения технологий связи на бизнес, т.к. существуют примеры практического внедрения подобных технологий в сфере умных городов[14];
3. преобразование образовательной индустрии (EdTech). Внедрение новых технологий связи создает более совершенную инфраструктуру для инновационных образовательных продуктов. В частности, модели смешанного обучения, которые относятся экспертами к радикальным инновациям, способным принципиально повысить эффективность школьной системы образования[15], требуют высокое качество связи для взаимодействия учеников в рамках учебного здания, а также возможность взаимодействия мобильных устройств, предназначенных для обучения, между собой;
4. повышение производительности труда за счет автоматизации ключевых процессов в промышленности, сельском хозяйстве и сфере услуг. Новые технологии связи являются основой для

[13] Bareta D. S., Muniz G. Conceptual Model for the Explanation of the Phenomenon of Radical Innovation in the Disruption of the Internet of Things, on scales of Smart Objects, Homes and Cities //Applications for Future Internet. – Springer, Cham, 2017. – С. 103-108.

[14] Malandra, F., Rochefort, S., Potvin, P., & Sansò, B. A case study for M2M traffic characterization in a smart city environment. In Proceedings of the 1st International Conference on Internet of Things and Machine Learning (pp. 1-9). 2017

[15] Chowdhury F. Blended learning: how to flip the classroom at HEIs in Bangladesh? //Journal of Research in Innovative Teaching & Learning. – 2019.

внедрения технологий автоматизации, которые напрямую стимулируют производительность труда;

5. повышение эффективности потребления энергетических ресурсов. Машинное обучение и Интернет вещей, использующие возможности нового поколения технологий связи, позволяют существенно повысить энергоэффективность предприятий и отраслей. В частности, энергоэффективность электромобилей может быть существенно повышена за счет массового внедрения моделей V2G и V2H.

Необходимо отметить воздействие технологий связи на динамично развивающиеся рынки. В частности, развитие технологий связи является основой для роста таких рынков, как:

- видео-стриминг;
- музыкальный стриминг;
- спорт-трансляции;
- мобильные игры.

Исследование агентства GSMA показывает, что все большее число людей оформляют мобильные подписки на сервисы видео-стриминга и музыкального стриминга[16]. При этом особенно высокие темпы роста наблюдаются для мобильных игр. Так, в Китае 71% респондентов имеют или планируют приобрести мобильную подписку на игры (рисунок ниже).

[16] GSMA Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

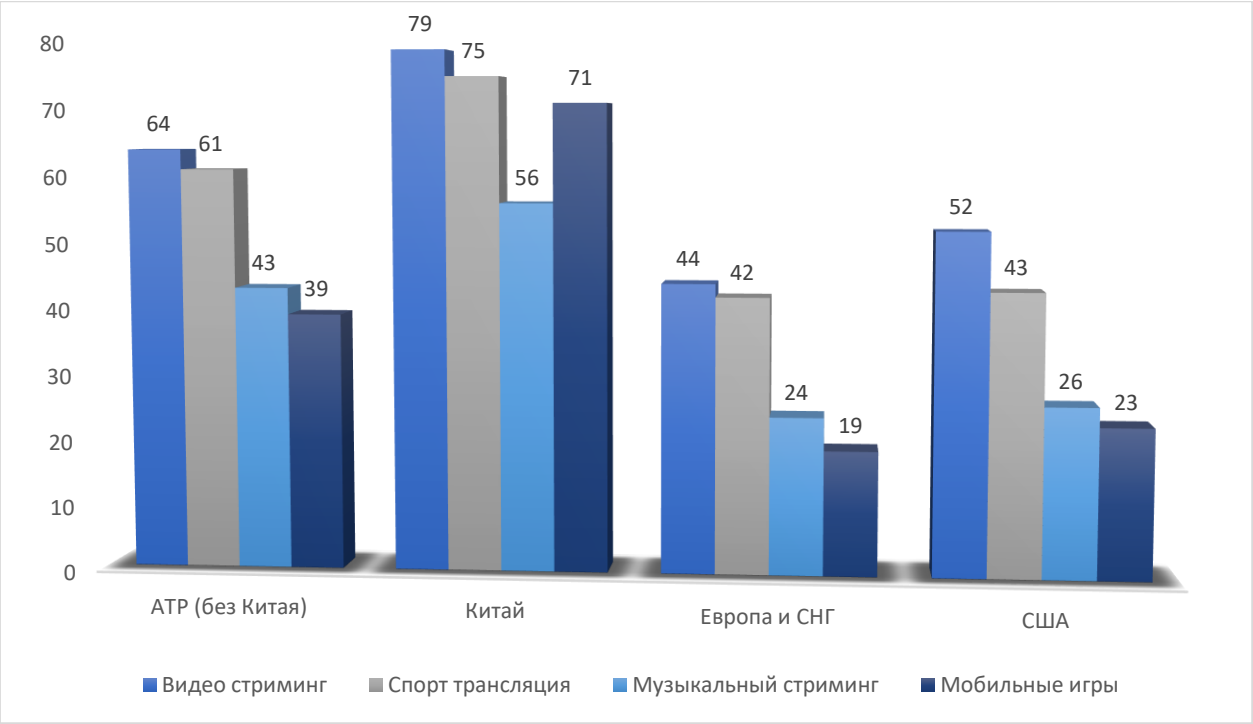


Рисунок 1.6. Доля респондентов, которые имеют или планируют приобрести мобильную подписку на сервисы различных сегментов, в АТР (без Китая), Китае, Европе и СНГ и США в 2020 году, %

Источник: GSMA [17]

В качестве ключевой технологии, определяющей дальнейшее развитие цифровизации в глобальной экономике, можно рассматривать сети 5G.

Существуют характеристики, которые определяют потенциал воздействия сетей 5G на бизнес и общество:

– более высокая скорость передачи данных по сравнению с сетями предыдущих поколений. Так, пиковая скорость передачи данных по 5G сетям составляет 10 Гбит/с. Для сравнения, пиковая скорость передачи данных по сетям LTE Advanced (4G) составляла 1000 Мбит/с;

[17] GSMA Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

– менее длительная задержка при прохождении данных в радио сети. Для 5G/IMT-2020 сетей задержка составляет до 1 мс, в то время как для LTE Advanced задержка составляла до 10 мс;
– высокая плотность подключений. Плотность подключений для 5G/IMT-2020 сетей составляет 1 млн. подключений на 1 кв. километр. LTE Advanced характеризовался плотностью подключений в 100 тыс. подключений на 1 кв. километр;
– пропускная способность 5G/IMT-2020 сетей составляет 10 Мбит/с/м2, в то время как пропускная способность LTE Advanced составляет 0,1 Мбит/с/м2.

Сравнение других технических характеристик LTE Advanced и 5G/IMT-2020 представлено на рисунке ниже.

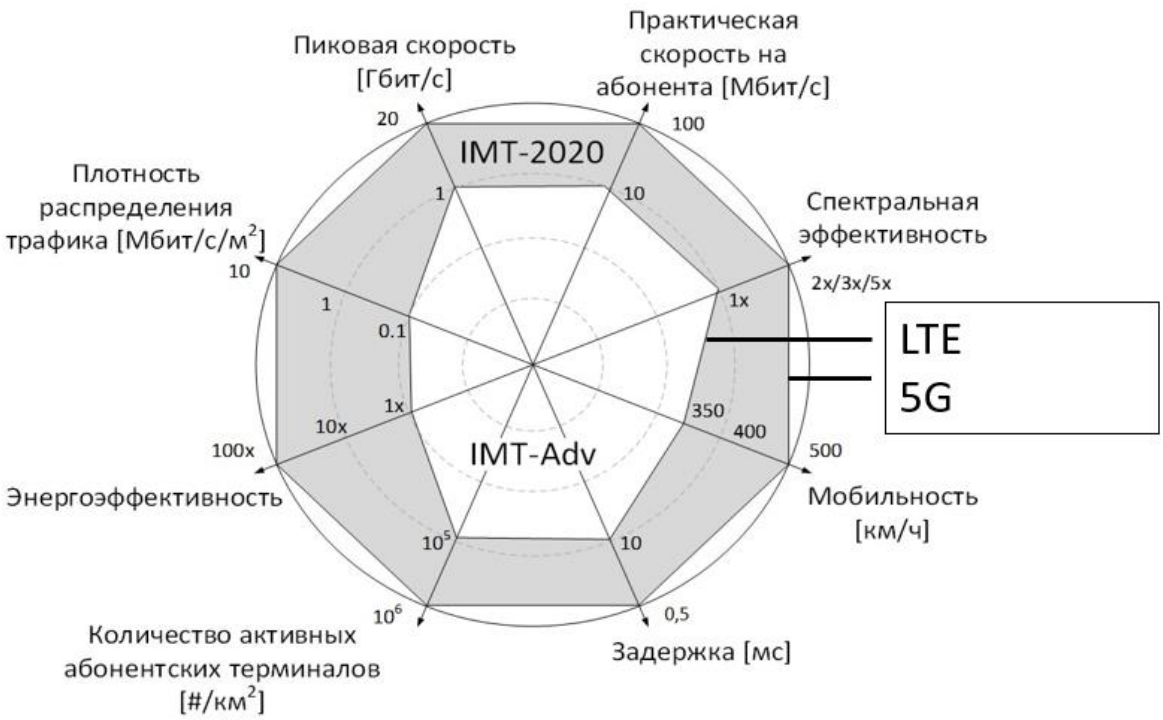


Рисунок 1.7. Сравнение технических характеристик LTE Advanced и 5G/IMT-2020

Источник: [18]

Главной характеристикой сетей 5G, которая определяет новые перспективы развития Интернета вещей, является более высокое число подключенных устройств к сети, то есть более высокая плотность подключений. За счет этой характеристики появляется возможность для полноценной реализации решений в сфере Интернета вещей. Особо высокий потенциал существует в сфере транспорта, т.к. автоматизация процессов управления транспортными средствами ставит более высокие требования к связи.

Специалисты Ericsson прогнозируют стремительный рост числа устройств Интернета вещей, которые являются подключенными к мобильным сетям – до 1,5 млрд. к концу 2021 года[19]. Таким образом, предполагается, что число подключенных устройств Интернета вещей в мобильных сетях вырастет более чем в 3 раза за 6 лет (с 400 млн. устройств по данным за 2015 год).

Аналитики Ericsson разделяют все устройства Интернета вещей на два группы[20]:

- массовые устройства. К данным устройствам относятся устройства, которые характеризуются относительно небольшим потребление электроэнергии и мобильного трафика и имеют относительно низкую стоимость производства. Такие устройства за счет низкой себестоимости могут производиться крупными партиями и быть доступными для массового потребителя. Массовые устройства уже сейчас используются в автоматизированных системах, специализирующихся на управлении «умными» домами, зданиями,

[18] Технические характеристики 5G. Сравнение 4G и 5G. URL: http://1234g.ru/5g/tekhnicheskie-kharakteristiki-5g

[19] Ericsson Mobility Report 2021. URL: https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/june-2021

[20] Ericsson Mobility Report 2021. URL: https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/june-2021

счетчиками и в других сферах (например, сельскохозяйственное оборудование, логистика);

- критически важные устройства. Данные устройства имеют более сложные технологические характеристики, которые позволяют обеспечить высокий уровень надежности. В частности, такие устройства обеспечивают минимальные задержки при обмене телеметрических данных. Следовательно, стоимость таких устройств является относительно высокой. Критически важные устройства используются в автоматизированных системах, которые требуют максимально высокий уровень надежности – например, в сфере контроля безопасности движения, в сфере здравоохранения, в производственных комплексах. В качестве примеров таких устройств можно выделить устройства по дистанционному мониторингу здоровья пациентов, устройства по контролю над транспортной безопасностью, системы автоматизированного управления температурой и др.

Межмашинное взаимодействие (M2M) напрямую зависит от характеристик сети. Традиционная архитектура M2M, наиболее распространенная в настоящее время, позволяет подключать различные устройства и программно-аппаратные решения, относящиеся к различным областям бизнес-процессов компании, в рамках одной системы (рисунок ниже).

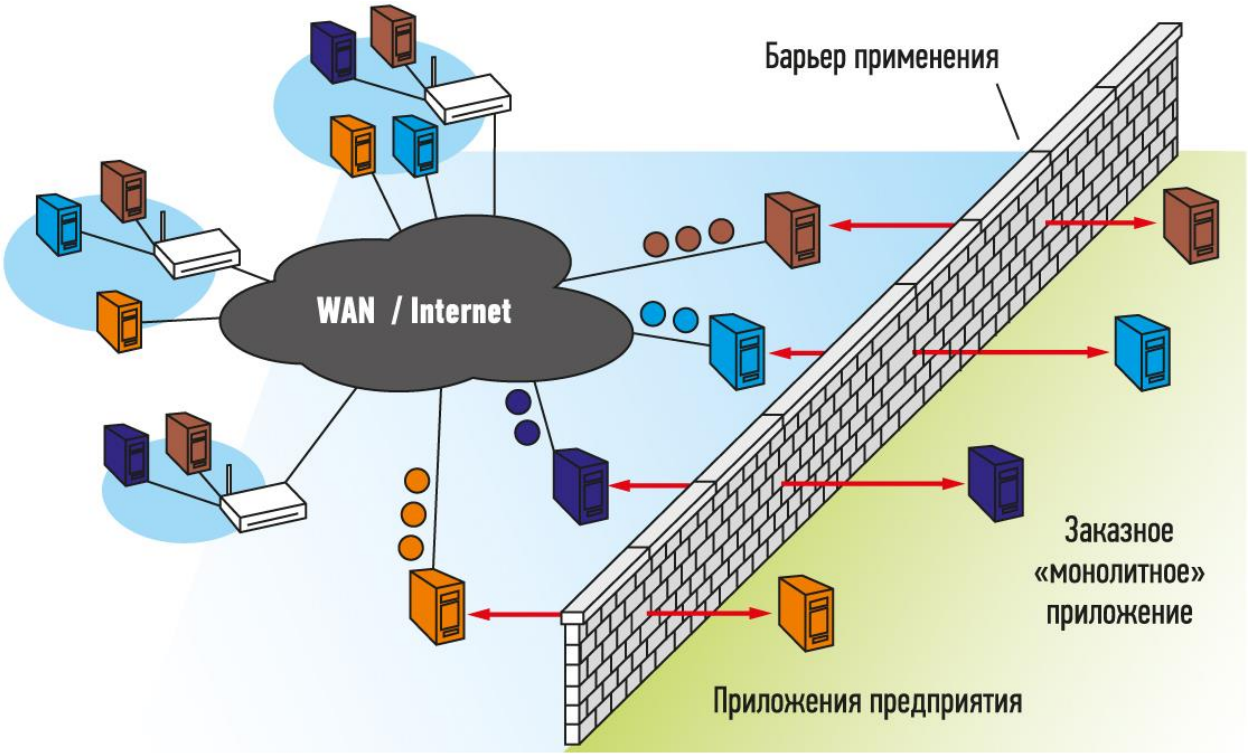


Рисунок 1.8. Текущая архитектура модели M2M и роль технологий связи в ней

Источник: Сиагри Р. [21]

Приложения предприятия – это устройства и программно-аппаратные решения, которые относятся к различным областям бизнес-процессов предприятия.

Заказное «моноплитное» приложение – это решение, созданное сторонними разработчиками для предприятия.

Барьер применения – это невозможность использования одних и тех же данных для второй системы во время подключения приложения к первой системе.

Подход Интернета вещей к архитектуре M2M предполагает использования сервисной корпоративный шины (ESB) для обеспечения высокой гибкости процессов.

Сервисная корпоративная шина – это связующее программное обеспечение, которое обеспечивает централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между различными информационными системами на принципах сервис-ориентированной архитектуры.

[21] Сиагри Р. Основы архитектуры «Интернета вещей» / Control Engineering Россия. – 2017. – №. 4. – С. 88-91.

Как видно на рисунке ниже, поставщик и потребитель данных межмашинного взаимодействия не являются привязанными друг к другу.

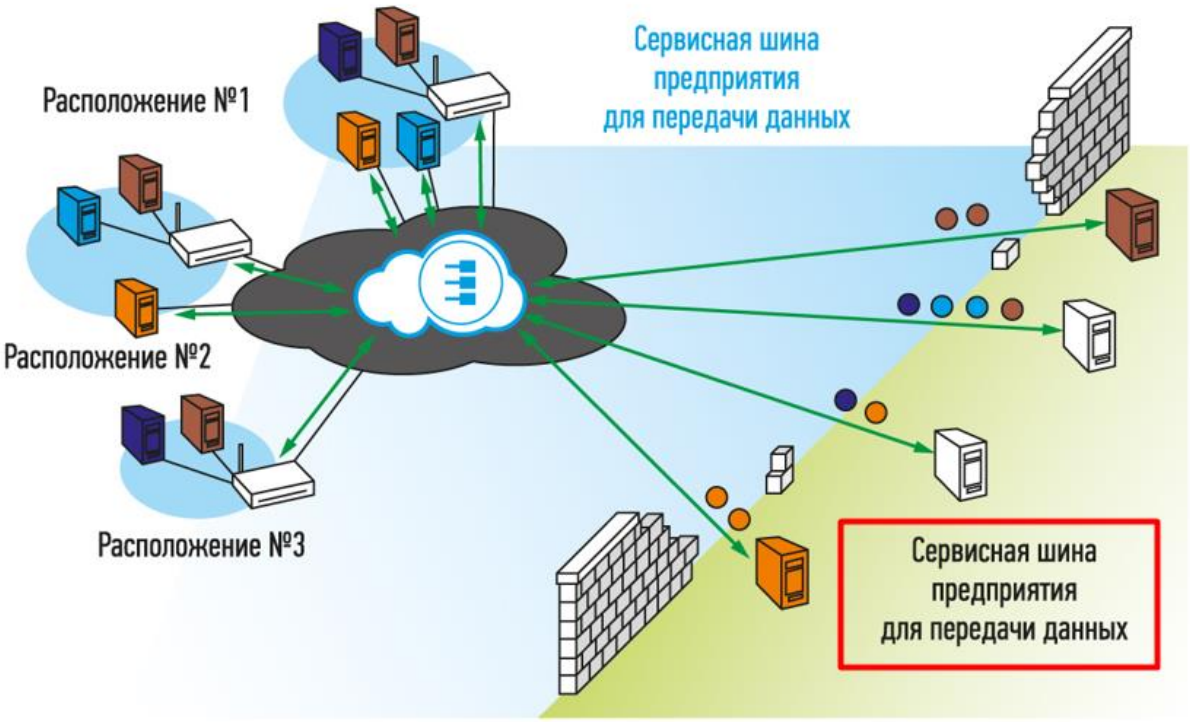


Рисунок 1.9. Архитектура модели M2M на основе подхода Интернета вещей

Источник: Сиагри Р. [22]

Таким образом, сети 5G позволяют достичь принципиально нового уровня межмашинного взаимодействия. Сети 5G позволяют обеспечить необходимую скорость передачи данных, чтобы устранить существующие барьеры, обозначенные выше. Сети 5G согласуются с рассматренной выше моделью M2M.

Развитие сетей 5G играет важную роль в практическом внедрении и других технологий Индустрии 4.0. Такие технологии, как Big Data, автоматизация производственных процессов (аддитивное производство), промышленная роботизация, требуют минимальной задержки при обмене

[22] Сиагри Р. Основы архитектуры «Интернета вещей» / Control Engineering Россия. – 2017. – №. 4. – С. 88-91.

данными между собой, высокой пропускной способности сети, низкой стоимости обмена данными. Технологии связи старого поколения не позволяют полноценно развернуться данным технологиям, поэтому исследователи выражают надежды по поводу решающей роли такой «сквозной» технологии, как сети 5G[23].

В качестве примеров наиболее актуального применения технологий связи нового поколения (в том числе технологии 5G) в сфере транспорта можно рассмотреть имплементацию технологии предиктивной диагностики в автомобильной отрасли. С помощью датчиков, подключенных к сети, сервисные службы могут в режиме реального времени прогнозировать уровень износа отдельных деталей автомобиля[24].

Другим наиболее требовательным к технологиям связи направлением на транспорте является развитие беспилотных транспортных средств и технологий автономного вождения. Большинство экспертов полагает, что для развития беспилотного транспорта и массового внедрения высокоавтоматизированных транспортных средств на дорогах общего пользования важным аспектом является развитие технологий связи нового поколения, в том числе 5G. Так, необходимость удаленного контроля ТС со стороны оператора на первых этапах внедрения беспилотных пассажирских ТС (как и удаленного мониторинга состояния ТС и окружающей ТС обстановки) требует обеспечения минимальной задержки и высокой скорости передачи данных, которую способны обеспечить, в том числе, сети 5G.

Развитие 5G сетей является основой для массового распространения таких смежных технологий, как туманные вычисления (англ. Fog computing) и граничные вычисления с множественным доступом (англ. MEC computing).

---

[23] Развитие 5G сетей является основой для массового распространения туманных вычислений (англ. Fog computing) и пограничных вычислений (англ. MEC computing).

[24] Mathew, V., Toby, T., Singh, V., Rao, B. M., & Kumar, M. G. (2017, December). Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of turbofan engine using machine learning. In 2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS) (pp. 306-311). IEEE, 2017

Важно отметить, что для облачных технологий развитие и массовое внедрение технологий вязи нового поколения является важным аспектом развития в среднесрочной перспективе.

Технология туманных вычислений позволяет организовать хранение и обработку информации в локальной сети. Таким образом, обмен данными между подключенным устройством и центром обработки данных происходит не в облачной системе, а в локальной сети. Система, основанная на технологиях туманных вычислений, представляет собой децентрализованную систему, выполняющую функцию фильтрации данных, поступающих от подключенных устройств.

Преимущества туманных вычислений выражаются в ряде моментов:

1. нагрузка на центр обработки данных снижается за счет фильтрации данных с помощью туманных систем;
2. рост скорости обмена данными по причине использования локальной сети;
3. повышение уровня безопасности данных за счет появления возможности внедрения дополнительных инструментов защиты в локальной сети (например, виртуальный firewall).

Туманные вычисления имеют высокий потенциал полезного использования в сфере Интернета вещей. Ключевые преимущества туманных вычислений позволяют полноценно внедрить модели межмашинного взаимодействия на производствах и в других сферах. В качестве примера можно привести беспилотные автомобили, датчики которых должны иметь доступ к связи, обеспечивающей передачу данных с минимальной задержкой во времени. Другие отрасли, в которых туманные вычисления могут создать новые возможности межмашинного взаимодействия – это здравоохранение, финансы, альтернативная и традиционная энергетика и др.

Граничные вычисления с множественным доступом, которые могут рассматриваться как частный случай, основанный на технологиях туманных

вычислений, выполняют задачу по выносу функции сети ближе к пользователям сети. Граничная (периферийная) область сети выполняет функции по сбору, анализу, обработке и хранению данных вместо передачи этих данных в облако. За счет сокращении расстояния от центра обработки данных до конечного клиента происходит рост производительности и снижение стоимость обработки данных. Возможности граничных вычислений являются применимыми в сфере Интернета вещей.

Важно отметить также ряд инновационных технологических решений, имплементация которых напрямую зависит от развития нового поколения технологий связи:

1. приложения коммуникации сотрудников (англ. Employee Communications Applications). Данные технологические решения нацелены на оптимизация рабочих коммуникаций в офисе. В основе данных решений лежат сети WLAN;
2. облачные приложения по анализу инцидентов в режиме реального времени (англ. Real-Time Incident Center-aaS)). Данные решения позволяют достичь минимального времени оповещения сотрудников компании о произошедших событиях или рисках. В основе данных решений лежат сети WLAN и сети WMAN.

Текущие и потенциальные направления воздействия рынка нового поколения технологий связи на бизнес и общества систематизированы в таблице ниже.

Таблица 1.14. Направления воздействие рынка нового поколения технологий связи на бизнес и общество

Направление воздействие	Характеристика воздействия	Степень воздействия
Стимулирующее воздействие на экономический рост в	Потенциальное положительное воздействие в	Умеренное

развитых и ряде развивающихся странах	средне- и долгосрочной перспективе	
Оптимизация производственных процессов	Текущее и потенциальное воздействие в среднесрочной перспективе при внедрении сетей 5G	Значительное
Преобразование образовательной индустрии	Потенциальное воздействие в долгосрочной перспективе при внедрении сетей 5G	Значительное
Повышение производительности труда за счет автоматизации ключевых процессов в промышленности, сельском хозяйстве и сфере услуг	Текущее и потенциальное воздействие в среднесрочной перспективе при внедрении технологий WMAN и WLAN	Значительное
Воздействие технологий связи на динамично развивающиеся рынки мобильных услуг: видео-стриминг, музыкальный стриминг, спорт-трансляции, мобильные игры.	Текущее и потенциальное воздействие в среднесрочной перспективе при внедрении сетей 5G	Значительное
Доступ к широкополосной связи является необходимым для полноценного взаимодействия с обществом	Текущее воздействие по мере развития технологий (например, WWAN)	Умеренное
Решение проблемы цифрового разрыва		Умеренное
Изменение моделей потребления информации		Умеренное
Вовлечение новых групп населения в экономику (инклюзивная экономика)		Слабое
Массовое распространение туманных вычислений (англ.	Потенциальное положительное воздействие в	Значительное

Fog computing) и граничных вычислений с множественным доступом (англ. MEC computing)	средне- и долгосрочной перспективе	

1.3 Драйверы и направления развития технологий связи

Новое поколение технологий связи представляет собой волну инноваций, которая формируется не только под воздействием научно-технического прогресса, но и под влиянием определенных драйверов.

В качестве главного драйвера развития технологий связи можно выделить **рост уровня цифровизации отраслей и различных сфер жизни общества.** Происходит развитие смежных технологий и внедрение технологических решений, для которых технологии связи являются комплементарными технологиями. Кроме того, происходит рост требований к объемам и скорости передачи данных и другим характеристикам сетей.

Спрос на технологические решения Интернета вещей также можно выделить среди драйверов развития технологий связи.

Как было отмечено в параграфе 1.2, большая доля полезных эффектов от развития рынка нового поколения технологий связи приходится на перспективы полноценной реализации промышленного Интернета вещей. Такие технологии, как Big Data, аддитивное производство, промышленная роботизация, M2M, V2X, могут стать главным драйвером развития технологий связи. Тем не менее, наиболее полно этот драйвер проявит себя в случае успешной имплементации технологий Интернета вещей на практике. Существующие примеры внедрения данных технологий показывают потенциально высокую эффективность таких решений[25], но массовое применение может привести к дополнительным рискам.

[25] Temur G. T., Bolat H. B., Gözlü S. Evaluation of industry 4.0 readiness level: Cases from Turkey //The International Symposium for Production Research. – Springer, Cham, 2018. – С. 412-425.

Технологии Интернета вещей будут выступать в качестве драйвера для развития технологий связи в случае реализации следующих факторов:

- появление большего числа успешных кейсов внедрения технологий промышленного Интернета вещей;
- системное воздействие технологий Интернета вещей на конкурентную среду крупных отраслей промышленности;
- наличие относительно небольших издержек, связанных с реализацией рисков при эксплуатации технологий Интернета вещей;
- стабильность и масштабируемость технологических решений в сфере Интернета вещей во многих отраслях экономики.

Согласно оценкам экспертов[26], именно запросы промышленности на автоматизацию процессов выступают в качестве главного драйвера развития технологий беспроводной связи в развитых и развивающихся странах. Решения Интернета вещей требуют высокой скорость передачи информации с низкой задержкой, что могут обеспечить сети 5G и технологические решения WLAN.

Важной задачей в этой сфере является замена подключения Ethernet к машинному оборудованию на крупных предприятиях для повышения эффективность коммуникаций и совершенствование текущих аналитических систем.

Одним из основных драйверов, которые стимулируют развитие технологий мобильной связи, является **рост значимости Интернета и Интернет-коммуникаций в жизни.** Рост числа абонентов мобильной связи в некоторых странах достиг уровня, при котором число абонентов превышает

[26] Liu, Y., Tong, K., Mao, F., & Yang, J. Research on digital production technology for traditional manufacturing enterprises based on industrial Internet of Things in 5G era. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 107(3), 2020, 1101-1114.

численность населения[27]. Это происходит по причине наличия нескольких мобильных устройств и номеров у одного потребителя, а также по причине наличия неиспользуемых SIM-карт.

Другой важный драйвер развития технологий связи в мире – это **развитие умных городов, технологий интеллектуальной городской мобильности.**

Тенденция развития концепции умных городов на теоретическом и практическом уровнях отмечается многими экспертами[28]. Умные города, объединяющие информационно-коммуникационные технологии для управления городскими процессами, используют Интернет вещей для реализации задач оптимизации управления инфраструктурой.

При имплементации новых технологий в рамках умных городов происходит существенное сокращение издержек города. Например, концепция умного города в Сан-Диего (США) нацелена на сокращение энергопотребления на 60%, что позволит городскому бюджету экономить до 2,5 млн. долл. каждый год[29].

Другие примеры практического применения нового поколения технологий связи в умном городе:

- управление городским трафиком и автомобильным движением за счет подключения камер наблюдения, светофоров и дорожных знаков к единой сети;
- совершенствование маршрутов общественного транспорта;
- повышение безопасности пешеходов на тротуарах и пешеходных переходах;

[27] GSMA Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

[28] Alavi, A. H., Jiao, P., Buttlar, W. G., & Lajnef, N. Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. Measurement, 129, 2018, 589-606.

[29] The Internet of Things for Smart Cities. PwC Report. URL: https://www.pwc.ru/en/assets/iot-for-cities-eng.pdf

– предотвращение преступлений и повышение эффективности при поиске преступников за счет внедрения интегрированной системы видеонаблюдения.

На уровне частных клиентов высокую актуальность имеет **концепция умного дома.** В отличие от умного города, концепция умного дома подразумевает оптимизацию бытового хозяйства жителей. Умные дома используют технологии Интернета вещей для контроля над различными аспектами бытового хозяйства. Например, управление освещением, коммунальными услугами, оборудованием для уборки дома, предметами личной гигиены и др. В этой сфере наиболее перспективными являются технологии WPAN сетей.

В качестве важного драйвера в среднесрочной перспективе важно отметить **восстановление мировой экономики после негативных последствий пандемии COVID-19.**

Пандемия COVID-19 оказала многостороннее воздействие на цифровую экономику в целом и развитие технологий связи в частности. С одной стороны, введение режима самоизоляции стимулировало развитие Интернет-коммерции и рынка онлайн-услуг. Это является основой для ускоренного внедрения новых технологий связи для удовлетворения растущих потребностей. С другой стороны, общий экономический спад негативно влияет на обеспеченность инновационных компаний финансовыми ресурсами и готовность инвесторов к риску. В данных условиях телекоммуникационные компания вынуждены дополнительно оптимизировать издержки на случай обострения ситуации с пандемией.

Важно отметить также **роль игровой индустрии** в стимулировании внедрения нового поколения технологий связи. Такие разработчики игр, как China Mobile, A1 Telekom и Singtel, активно развивают многопользовательские игры, требующих повышенных требований к задержке и пропускной способности сети для обеспечения непрерывного игрового процесса.

Следовательно, игровая индустрия является одним из драйверов для внедрения сетей 5G. Исследование GSMA подтверждает данный вывод: геймеры с большей вероятностью перейдут на 5G, чем средний пользователь смартфонов (45% и 35% респондентов соответственно)[30].

Несмотря на мощное воздействие драйверов на развитие технологий связи нового поколения, текущие технологические решения частично сохраняют конкурентные преимущества.

Технологии фиксированной связи все еще являются широко распространенными в мире, хотя инновации в этой сфере развиваются значительно медленней, чем в сфере беспроводной связи. Фиксированная связь активно используется домашними хозяйствами и компаниями для обеспечения доступа в Интернет, функционирования цифрового телевидения, проведения видео-конференций и др.

Фиксированная связь в большинстве стран мира удовлетворяет разнообразные потребности клиентов на достаточно высоком уровне. Так, в России фиксированная связь используется для доступа к Интернету, обслуживания цифрового ТВ, организации магистральных каналов и других задач. Тем не менее, преимущества фиксированной связи все в большей степени становятся несущественными по мере развития рынка нового поколения технологий связи, таких как сети 5G. В результате этого процесса технологии фиксированной связи становятся более нишевыми, подходящими для удовлетворения узких потребностей.

В таблице ниже систематизированы драйверы и направления развития технологий связи.

Таблица 1.15. Драйверы и направления развития технологий связи

Драйвер	Направление развития технологий связи

[30] GSMA Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

Рост числа абонентов мобильной связи в мире	Расширение доступа к LTE, распространение сетей 5G
Рост уровня цифровизации отраслей и различных сфер жизни общества	Распространение сетей 5G, внедрение технологических решений WLAN
Спрос на технологические решения Интернета вещей	
Роль игровой индустрии	Развитие технологических решений WWAN
Внедрение концепции умного города	Распространение технологических решений WMAN
Рост спроса на умные дома	Распространение технологических решений WLAN и WPAN
Восстановление мировой экономики после негативных последствий пандемии COVID-19	Диверсификация технологических решений на рынке нового поколения технологий связи

В данном контексте также важно выделить и барьеры развития технологий связи нового поколения:

1. необходимость создания инфраструктуры, массового внедрения и адаптации новых инфраструктурных технологических решений. Глобальные исследования[31] показывают, что внедрение 5G сетей происходит достаточно медленно, в том числе по причине необходимости построения инфраструктуры на основе новых технологий. В частности, необходимо внедрение транзитных сетей Backhaul для обеспечения высокой пропускной способности сетей, применение транзитных сетей Fronthaul для повышения эффективности обработки данных сети, установка мощных полевых транзисторов на основе нитрида галлия для массового использования систем MIMO;

[31] Where is 5G heading (and how fast will it get there)? Molex Report. URL: https://experience.molex.com/electronic-solutions/telecommunications-insights/

2. нехватка финансовых ресурсов в условиях восстановления мировой экономики после последствий пандемии COVID-19;
3. низкий уровень готовности к рискам крупных технологических игроков (включая BigTech компании) по причине нестабильности экономического роста в мире;
4. инерционность поведения большей части корпоративных и частных клиентов на рынке связи;
5. риск слишком высокой стоимости управления новой ИТ-инфраструктурой и приложениями в компаниях, внедряющих новые технологии связи;
6. дефицит специалистов, имеющих навыки, знания и опыт в сфере внедрения новых технологических решений.

Преодоление данных барьеров возможно за счет улучшения процессов оценки, планирования и проектирования технологических решений на практике, а также государственной поддержки инновационных инициатив в сфере технологий связи.

1.4 Анализ уровня готовности ключевых технологических решений

Рассмотренные технологии связи находятся на различных этапах развития. Для анализа готовности технологий был проведен анализ хайп-цикла Гартнер и индикатора уровня технологической готовности.

Согласно методологии Гартнер, технологическая инновации проходит 5 этапов:

1. технологический триггер (англ. Technology Trigger), на котором происходят первые новости о технологии;
2. пик чрезмерных ожиданий (англ. Peak of Inflated Expectation), во время которого происходит распространение и популяризация характеристик новой технологии;

3. избавление от иллюзий (англ. Trough of Disillusionment), на котором происходит выявление недостатков технологии;
4. преодоление недостатков (англ. Slope of Enlightenment), в рамках которого разработчики совершенствуют технологию и представляют новые версии решений;
5. плато продуктивности (англ. Plateau of Productivity). На данном этапе технология воспринимается как повсеместная, изученная и готовая для масштабирования.

Хайп-цикл Гартнер, опубликованный аналитический агентством в августе 2021[32], оценил готовность ряда технологий связи к выходу на плато продуктивности (рисунок ниже).

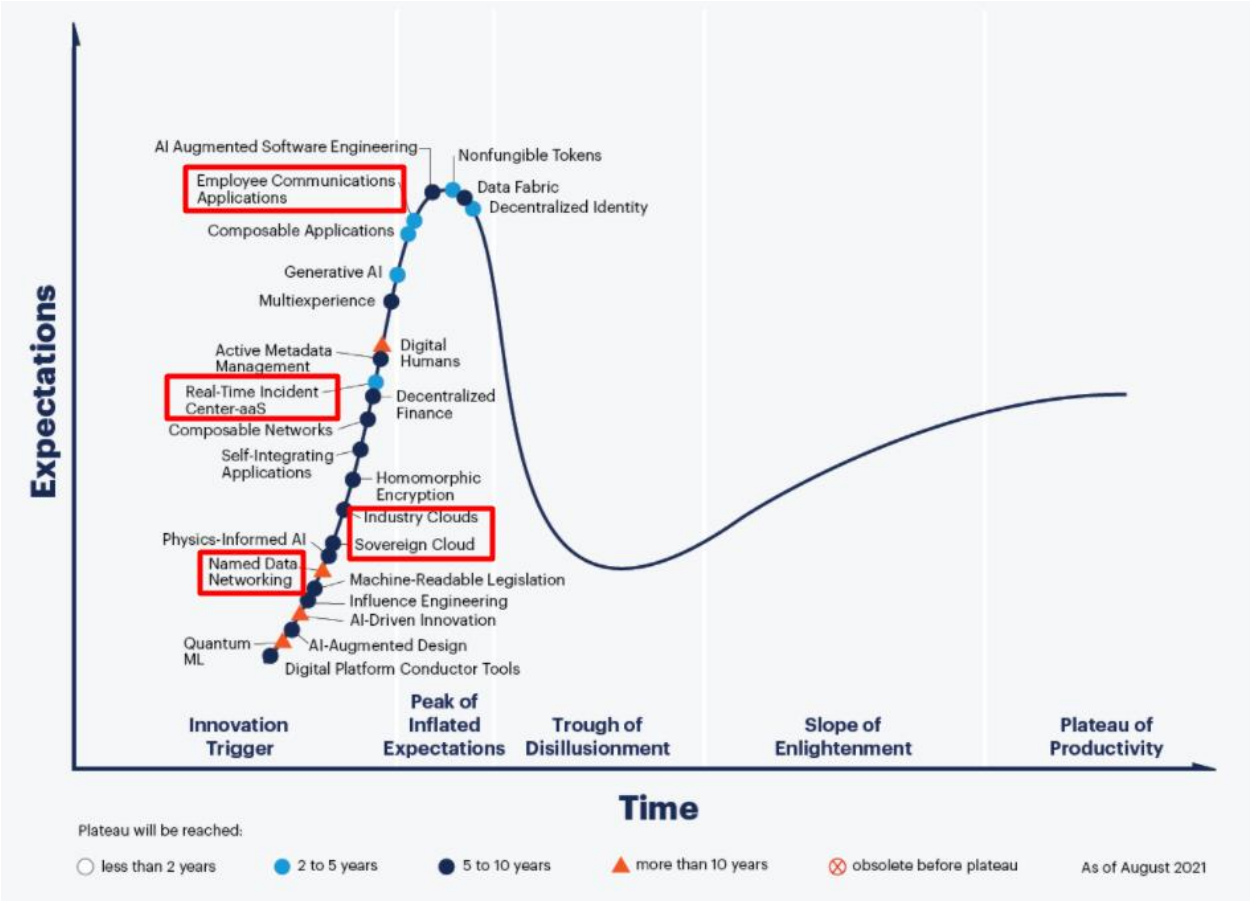


Рисунок 1.10. Хайп-цикл новых технологий от Гартнер, 2021

[32] Gartner Hype-cycle 2021. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-themes-surface-in-the-2021-hype-cycle-for-emerging-technologies

Digital Platform Conductor Tools - инструменты внешнего управления цифровыми платформами; Quantum ML – квантовое машинное обучение; AI-Augmented Design – расширенный дизайн искусственного интеллекта; Influence Engineering – механики автоматизации цифрового опыта пользователей; Machine-Readable Legislation – машиночитаемое законодательство; Named Data Networking - сеть именованных данных; Homomorphic Encryption - Гомоморфное шифрование; Self-Integrating Applications - самоинтегрирующиеся приложения; Composable Networks - компонуемые сети; Decentralized Finance - децентрализованные финансы; Real-Time Incident Center-aaS - облачные приложения по анализу инцидентов в режиме реального времени; Active Metadata Management - активное управление метаданными; Multiexperience - многопользовательский опыт; Generative AI – генеративный искусственный интеллект; Composable Application – компонуемые приложения; Employee Communications Applications - приложения коммуникации сотрудников; AI Augmented Software Engineering - разработка программного обеспечения на основе искусственного интеллекта; Nonfungible Tokens – невзаимозаменяемые токены; Data Fabric - фабрика данных; Decentralized Identity - децентрализованная идентификация.

Источник: Gartner[33]

На основе результата анализа хайп-цикла Гартнер можно сделать следующие выводы по поводу нового поколения технологий связи, а также тесно связанных с ними других технологий:

1. на этапе технологического триггера находятся технологии, связанные с организацией коммуникаций внутри офиса (приложения коммуникации сотрудников (англ. Employee Communications Applications), облачные приложения по анализу инцидентов в режиме реального времени (англ. Real-Time Incident Center-aaS)), облачными вычислениями (облака для вертикальных рынков (англ. Industry Clouds), Sovereign Clouds), сеть именованных данных (англ. Named Data Networking);
2. согласно прогнозам Гартнер, на плато продуктивности в течение 2-5 лет выйдут приложения коммуникации сотрудников и облачные приложения по анализу инцидентов в режиме реального времени;

[33] Gartner Hype-cycle 2021. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-themes-surface-in-the-2021-hype-cycle-for-emerging-technologies

3. прогнозируется, что на плато продуктивности в течение 5-10 лет выйдут облака для вертикальных рынков и Sovereign Clouds;
4. Технология сетей именованных данных (Named Data Networking) выйдет на плато продуктивно не ранее, чем через 10 лет.

Хайп-цикл июля 2020 года представлен на рисунке ниже.

Рисунок 1.11. Хайп-цикл новых технологий от Гартнер, 2020

Authenticated Provenance - технология подтверждения происхождения; AI-Assisted Design - дизайн с использованием искусственного интеллекта; DNA Computing and Storage - вычисления и хранение ДНК; Low-Cost Single-Board Computers at the Edge - недорогие одноплатные компьютеры; Self-Supervised Learning - обучение с частично размеченными данными; Health Passport - паспорт здоровья; Brain Machine Interface - нейрокомпьютерный интерфейс; Generative Adversarial Networks – генеративно-состязательные сети; Biodegradable Sensors - биоразлагаемые датчики; Differential Privacy - дифференциальная конфиденциальность; Private 5G – корпоративный 5G; Social Data - анализ социальных данных; Adaptive ML – адаптивное машинное обучение; Composite AI – композитный искусственный интеллект; Generative AI – генеративный искусственный интеллект; Packaged Business Capabilities - пакетные бизнес-решения; Citizen Twin – цифровой двойника человека горожанина; Digital Twin of the Person – цифровой двойник человека; Multiexperience -

многопользовательский опыт; Responsible AI - ответственное применение искусственного интеллекта; AI Augmented Development - расширенная разработка на основе искусственного интеллекта; Composable Enterprise – композитное предприятие; Data Fabric - фабрика данных; Embedded AI – встроенный искусственный интеллект; Secure Access Service Edge - пограничный сервис безопасного доступа; Social Distancing Technologies - технологии социального дистанцирования; Explainable AI – «объяснимый» искусственный интеллект; Carbon-Based Transistors - углеродные транзисторы; Bring Your Own Identity - внешняя идентификация пользователя; Ontologies and Graphs - онтология и графы.

Источник: Gartner[34]

На основе данного хайп-цикла можно сделать следующие выводы по поводу нового поколения технологий связи, а также тесно связанных с ними других технологий:

- технология Private 5G (корпоративные сети 5G) находится на этапе технологического триггера. Прогнозируемое время до достижения плато продуктивности составляет от 4 до 9 лет с учетом прошедшего года с момента публикации прогноза Гартнер;
- технология цифрового двойника человека (англ. Citizen Twin), использующаяся при реализации концепции умного города для сбора и презентации данных о горожанах, находится на этапе технологического триггера. Прогнозируемое дата достижения плато продуктивности – 2024-2029 гг.

Хайп-цикл Гартнер, составленный в августе 2019 года, оценивает сети 5G на уровне пика чрезмерных ожиданий с прогнозом выхода на плато продуктивности в 2021-2024 гг. (рисунок ниже).

[34] Gartner Hype-cycle 2020. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020

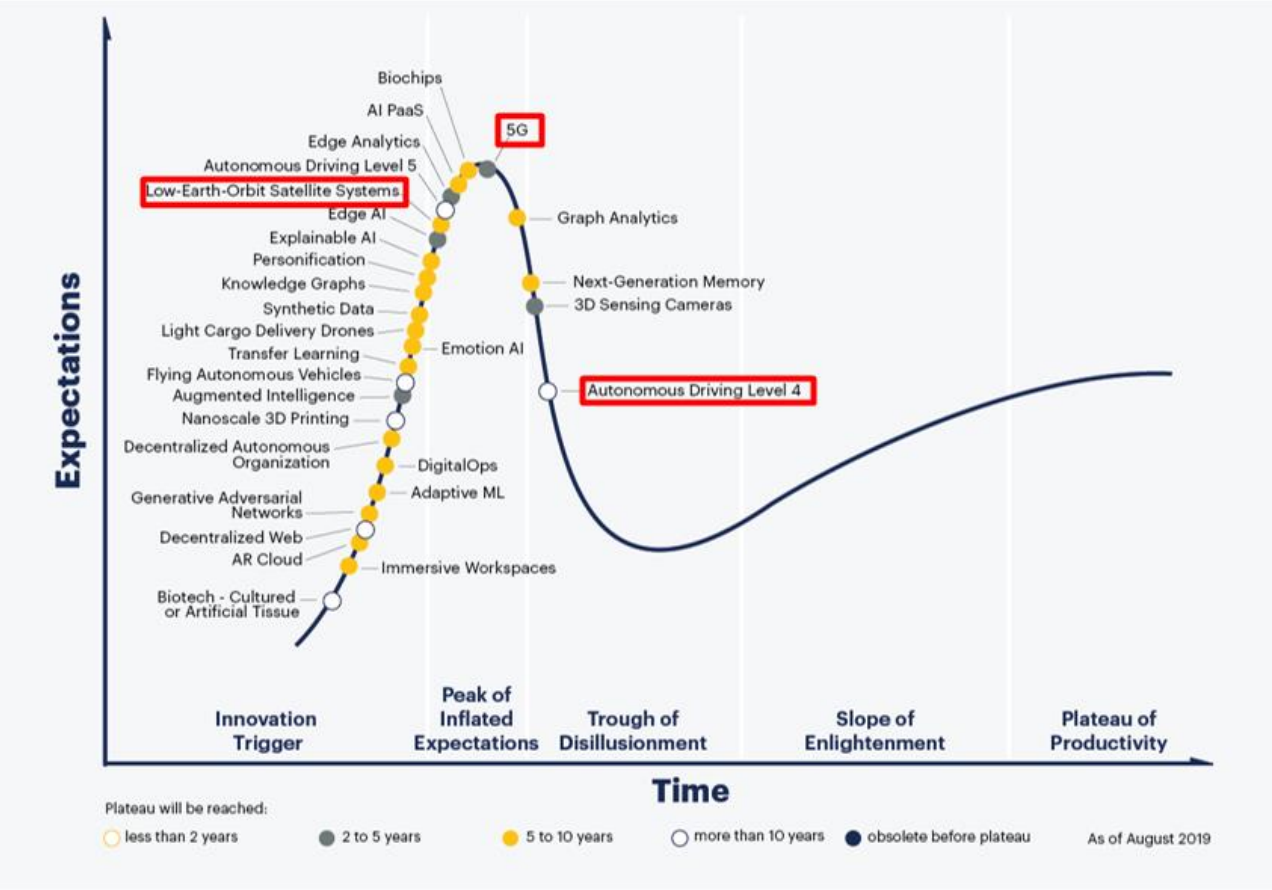


Рисунок 1.12. Хайп-цикл новых технологий от Гартнер, 2019

Artificial Tissue – искусственные ткани; Immersive Workspaces - иммерсивные рабочие пространства; AR Cloud – облачная система дополненной реальности; Decentralized Web - децентрализованный Интернет; Generative Adversarial Networks – генеративно-состязательные сети Adaptive ML – адаптивное машинное обучение; DigitalOps – инструменты планирования, управления и контроля бизнеса на основе анализа данных; Decentralized Autonomous Organization - децентрализованная автономная организация;Nanoscale 3D Printing - наноразмерная 3D-печать;Augmented Intelligence - расширенный интеллект;Flying Autonomous Vehicles - летающие автономные транспортные средства;Transfer Learning - трансферное обучение;Edge Analytics - периферийная аналитика;Emotion AI – эмоциональный искусственный интеллект;Light Cargo Delivery Drones - дроны для доставки легких грузов;Synthetic Data - синтетические данные; Knowledge Graphs - сеть знаний; Personification - персонификация; Explainable AI – «объяснимый» искусственный интеллект; Edge AI – периферийный искусственный интеллект; Low-Earth-Orbit Satellite Systems - технология низкоорбитальной спутниковой связи; Autonomous Driving Level 5 - технологии автономного вождения 5 уровня (расширенное автономное вождение) ; Edge Analytics - периферийные вычисления; AI PaaS - платформа искусственного интеллекта как услуга; Biochips – биочипы; 5G – сети связи пятого поколения; Graph Analytics - графическая аналитика; Next-Generation Memory - память нового поколения; 3D Sensing Cameras - камеры 3D-зондирования;

Autonomous Driving Level 4 - технологии автономного вождения 4 уровня (полностью автономное вождение)

Источник: Gartner[35]

Важные для технологий связи технологические решения в 2019 году находились на достаточно высоком уровне развития. В частности, технологии автономного вождения 4 уровня (полностью автономное вождение) находились на стадии избавления от иллюзий с прогнозом выхода на плато продуктивности до 2021 года.

Технология низкоорбитальной спутниковой связи, согласно оценкам экспертов Гартнер, находилась на этапе пика завышенных ожиданий с прогнозом выхода на плато продуктивности в 2024-2019 гг.

Отдельно стоит отметить технологические решения Интернета вещей. Как было отмечено нами ранее, развитие Интернета вещей является одним из главных драйверов развития нового поколения технологий связи.

Хайп-цикл Гартнер для технологических решений Интернета вещей, составленный в июле 2020 года, представлен на рисунке ниже.

[35] Gartner Hype-cycle 2019. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019

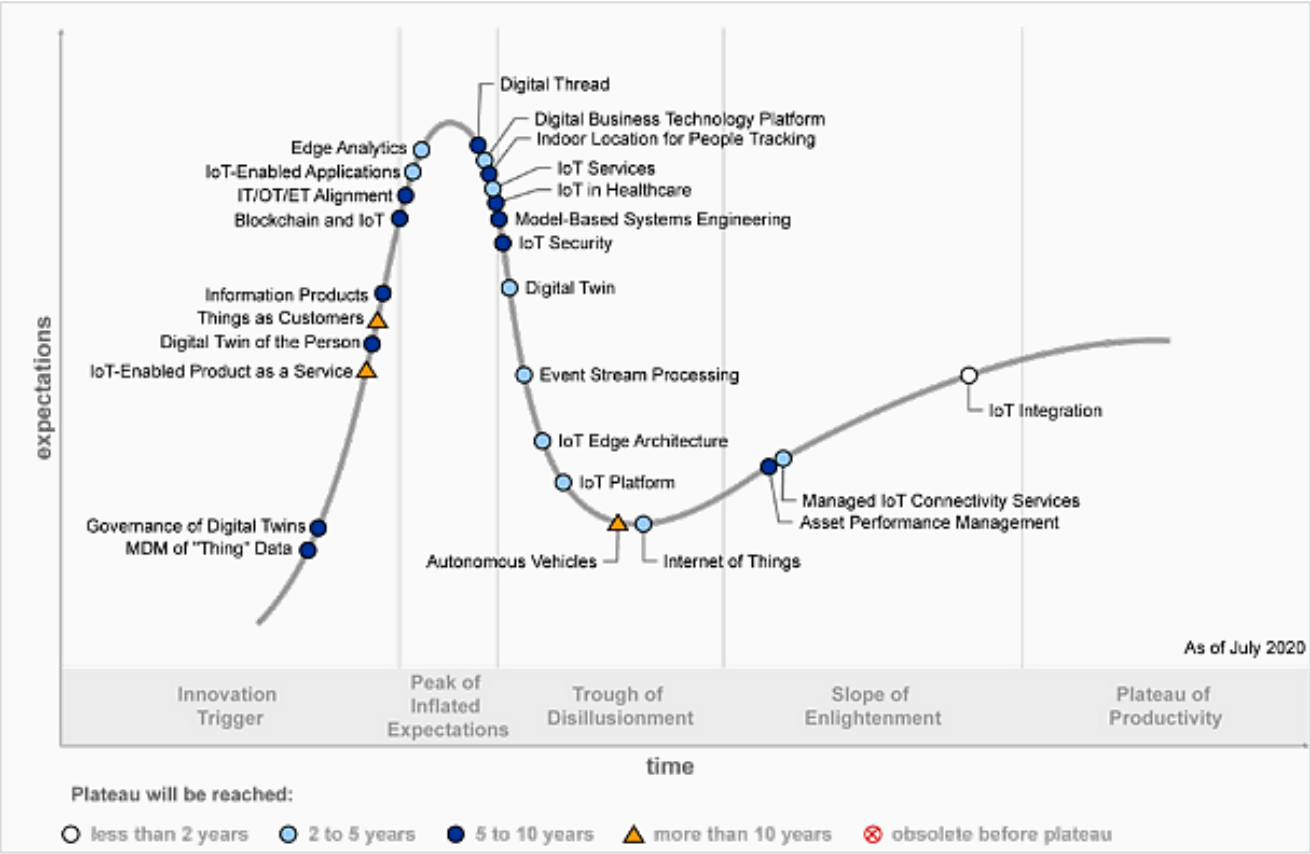


Рисунок 1.13. Хайп-цикл новых технологий в сфере Интернета вещей от Гартнер, 2020

MDM of «Thing» Data - управление основными данными; Governance of Digital Twins - регулирование системы цифровых двойников;IoT-Enabled Product as a Service - продукт на основе Интернета вещей как услуга;Digital Twin of the Person - цифровой двойник человека;Things as Customers – вещи как клиенты;Information Products - информационные продукты;Blockchain and IoT - блокчейн и Интернет вещей;IT/OT/ET Alignment – согласование ИТ и операционных технологий;IoT-Enabled Applications – приложения на основе Интернета вещей;Edge Analytics - периферийная аналитика;Digital Thread – цифровой поток;Digital Business Technology Platform - платформа цифровых бизнес-технологий;Indoor Location for People Tracking – технологии трекинга в закрытых помещениях;IoT Services – сервисы Интернета вещей;IoT in Healthcare – Интернет вещей в здравоохранении;Model-Based Systems Engineering – системы инжиниринга на основе моделей;IoT Security - безопасность Интернета вещей;Digital Twin – цифровой двойник;Event Stream Processing - обработка потока событий;IoT Edge - периферийный Интернета вещей;IoT Edge Architecture – архитектура периферийного Интернета вещей;IoT Platform – платформы Интернета вещей;Autonomous Vehicles - автономные автомобили;Internet of Things - Интернет вещей;Asset Performance Management - управление эффективностью активов;Managed IoT Connectivity Services - службы подключения к Интернету вещей;IoT Integration - интеграция Интернета вещей.

Источник: Gartner[36]

Можно сделать вывод, что ряд решений, согласно прогнозу Гартнер, достигнет плато продуктивности в перспективе до 2025 года:

1. интеграционные системы Интернета вещей (англ. IoT Integration);
2. платформы Интернета вещей (IoT Platforms);
3. услуги на основе Интернета вещей (IoT Services).

Технология взаимодействия автономного транспорта (англ. Autonomous Vehicles), несмотря на то что находится на этапе избавления от иллюзий, выйдет на плато продуктивности не ранее 2030 года, согласно прогнозу специалистов Гартнер.

Для анализа готовности технологий к практическому применению была применена методология оценки уровня технологической готовности (Technology Readiness Level)[37]. Данная технология применяется для усредненной оценки способности технологии быть имплементированной в массовом масштабе.

Таблица 1.16. Методология оценки уровня технологической готовности (Technology Readiness Level)

Уровень готовности	Характеристики технологии
TRL 9	Технология успешно прошла тестирование в операционной среде и готова к эксплуатации
TRL 8	Технология прошла стадию разработки
TRL 7	Прототип прошел этап тестирования
TRL 6	Технология прошла демонтрацию в подходящей среде

[36] Hype Cycle for the Internet of Things. URL: https://www.gartner.com/en/documents/3987602/hype-cycle-for-the-internet-of-things-2020

[37] Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Advanced Concepts Office of Space Access and Technology. https://www.colorado.edu/ASEN/asen3036/TECHNOLOGYREADINESSLEVELS.pdf

TRL 5	Пройден этап валидации технологии в подходящей среде
TRL 4	Пройден этап валидации технологии в искусственной среде
TRL 3	Успешно проведены эксперименты над концепцией
TRL 2	Сформулирована концепция технологии
TRL 1	Определены базовые принципы технологии

Источник: Mankins J.[38]

Для ключевых технологий связи, рассмотренных в параграфе 1.1, были определены уровни технологичной готовности. Источниками информации для расчета оценок служили «Атлас «сквозных» цифровых технологий России»[39], аналитические отчеты агентства Гартнер. На основе информации из открытых источников и консультаций с экспертами были проведены корректировки оценок в соответствие с наиболее актуальным положением рынка нового поколения технологий связи.

Результаты оценки готовности технологий связи представлены в таблице ниже.

Таблица 1.17. Уровень готовности ключевых технологических решений

Технологическое решение	Россия	Мир
Сети 5G	5	9
LPWAN	9	9
Li-Fi	7	9
Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax)	5	7
WiGig	6	9

[38] Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Advanced Concepts Office of Space Access and Technology. https://www.colorado.edu/ASEN/asen3036/TECHNOLOGYREADINESSLEVELS.pdf
[39] Атлас сквозных цифровых технологий России. URL: https://ict.moscow/research/atlas-skvoznyh-cifrovyh-tehnologiy-rossii/

Прямой Wi-Fi	7	9
Радиочастотная идентификация (RFID)	9	9
Спутниковый широкополосный доступ	9	9
Спутниковый Интернет вещей	3	3
ZigBee	6	9
Беспроводная передача электроэнергии	8	8
Лазерная передача данных	7	7
Private 5G	4	7
Межмашинные коммуникации (M2M)	6	9
Коммуникация близкого поля (NFC)	7	9
Bluetooth	7	9
Высокочастотные антенные установки с усилением	9	9

Можно сделать вывод, что ряд субтехнологий связи в России отстают от мирового уровня. К таким технологиям можно отнести:

1. сети 5G;
2. Li-Fi;
3. Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax);
4. WiGig;
5. прямой Wi-Fi;
6. ZigBee;
7. Private 5G;
8. межмашинные коммуникации (M2M);
9. коммуникация близкого поля (NFC);
10. Bluetooth.

В то же время ряд субтехнологий находятся на мировом уровне готовности:

LPWAN, радиочастотная идентификация (RFID);

1. спутниковый широкополосный доступ;
2. беспроводная передача электроэнергии;

3. лазерная передача данных;
4. высокочастотные антенные установки с усилением.

Общее количество доступных субтехнологий оценивается в 17 единиц.

Глава 2. Анализ рынка нового поколения технологий связи в России и мире (Северная Америка, Европа, Азия)

2.1 Анализ объема и динамики сегментов рынка в мире

На основе классификации сегментов рынка нового поколения технологий связи, представленной в п. 1.1, проведен анализ объема и динамики основных сегментов данного рынка.

Будут рассмотрены следующие сегменты технологий связи нового поколения: WWAN, WLAN, WMAN, WPAN и WBAN. Также отдельным образом будет рассмотрен сегмент технологий связи нового поколения на транспорте V2X.

2.1.1 Беспроводная глобальная вычислительная сеть (WWAN)

WWAN является наиболее крупным сегментом рынка нового поколения технологий связи, т.к. содержит сквозные технологии, оказывающих масштабное воздействие на многие сферы экономики и общества в целом.

Сети 5G играют первостепенную роль в перспективе 5-8 лет при анализе сегмента WWAN. Согласно исследованию GSMA, доля подключений к сети 5G в совокупном числе мобильных подключений составит 21% к 2025 году[40], то есть 1,8 млрд. подключений. По данным на 2020 год, данный показатель составляет менее 1,5%. При этом доля подключений к сети 4G будет оставаться стабильной – прогнозируется значение показателя в 57% в 2025 году против 56% в 2020 году.

Далее будет проведен анализ рынка 5G по четырем ключевым регионам мира: Европа (страны Европейского Союза и Великобритания), Северная Америка, Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), страны СНГ. При этом рынок АТР будет рассмотрен отдельно для Китая и для остальных стран,

[40] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

исключая Китай, чтобы более детально проанализировать тенденции китайской экономики.

Прогнозируется, что доля 5G в европейских странах резко вырастет с 1% в 2020 году до 35% в 2025 году (рисунок ниже).

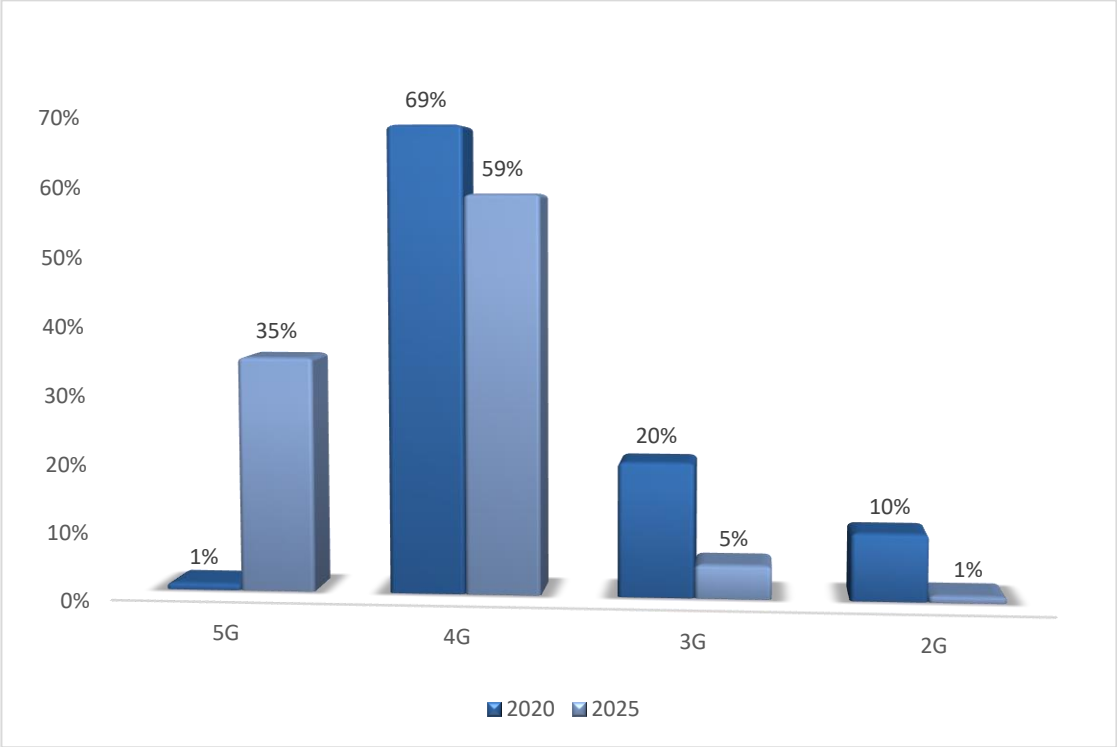


Рисунок 2.1. Доля подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в Европе в 2020 г. и 2025 г., %

Источник: GSMA[41]

Этот рост будет вызван экономической целесообразностью внедрения нового поколения технологий связи в наиболее развитых экономиках. В то же время сети 4G все еще останутся доминирующей технологией – прогнозируется, что доля подключений к сети 4G составит 59% в совокупном числе мобильных подключений в 2025 году, в то время как в 2020 году этот показатель составлял 69%.

[41] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

Доля подключений к сетям 3G и сетям 2G снизится в 4 и 10 раз соответственно к 2025 году.

На рисунке ниже представлена динамика доли подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в Северной Америке в 2020-2025 гг.

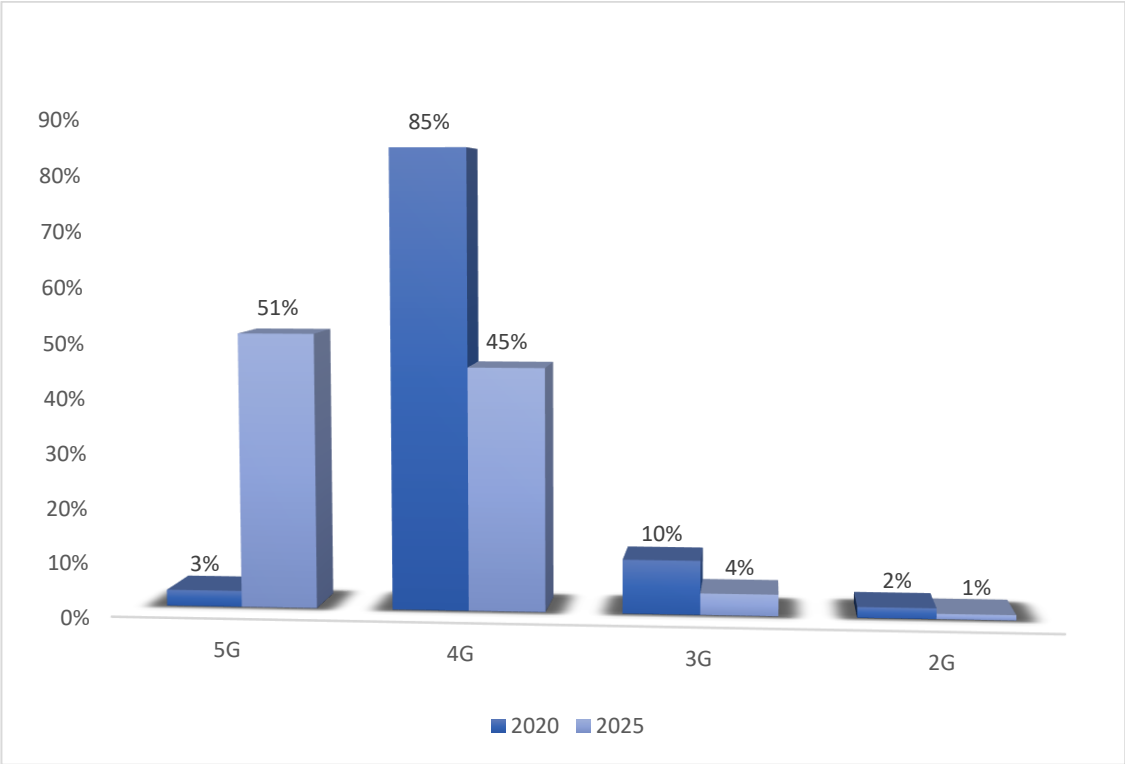


Рисунок 2.2. Доля подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в Северной Америке в 2020 г. и 2025 г., %

Источник: GSMA[42]

Прогнозируется, что доля подключений к сетям 5G вырастет до 51% к 2025 года с 3% в 2020 году. Данное значение является рекордным среди всех регионов мира.

Достаточно сильное сокращение прогнозируется для подключений к сетям 4G в Северной Америке – с 85% в 2020 году до 45% в 2025 году. Доля

[42] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

подключений к сетям 3G и 2G является достаточно низкой для этого региона по данным за 2020 год, поэтому сокращение долей до 4% (3G) и 1% (2G) не окажет существенного воздействия на сегмент WWAN в целом в Северной Америке.

На рисунке ниже представлена динамика доли подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в странах АТР (за исключением Китая) в 2020-2025 гг.

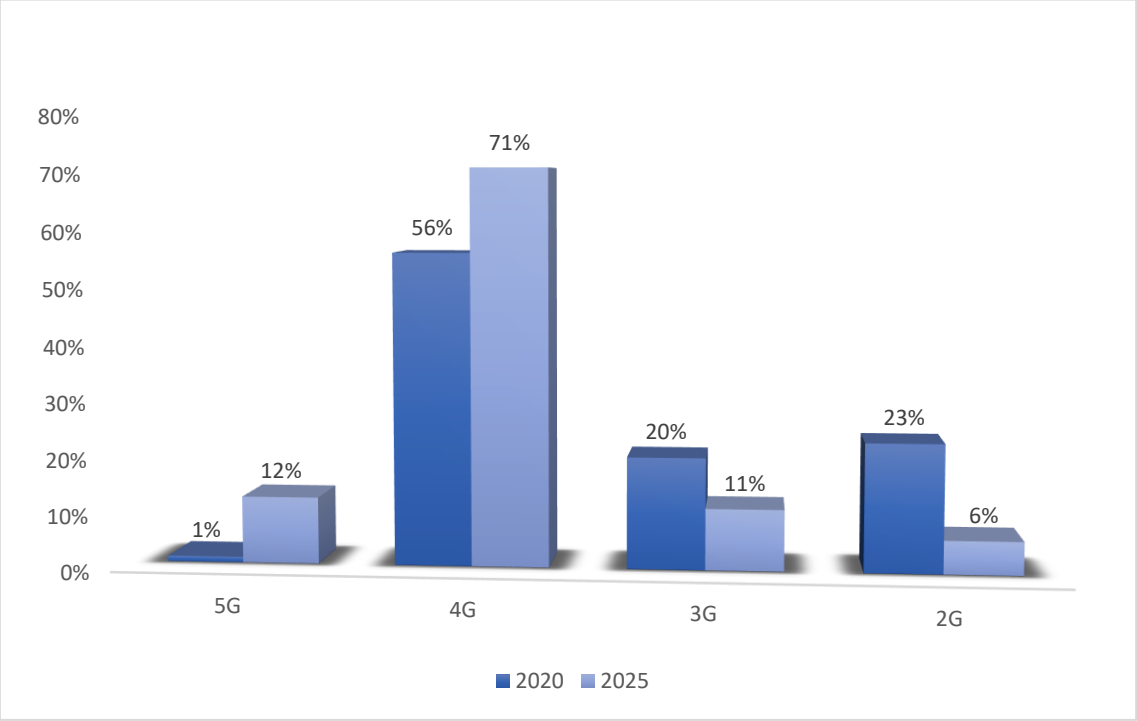


Рисунок 2.3. Доля подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в АТР (без Китая) в 2020 г. и 2025 г., %

Источник: GSMA[43]

Согласно прогнозам, доля подключений к сетям 5G составит относительно небольшое значение в 12% от всех мобильных подключений в АТР в 2025 году. По данным на 2020 год, доля подключений к сетям 5G составляет 1% от всех мобильных подключений в этом регионе.

[43] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

Положительную динамику также покажут сети 4G – прогнозируется, что доля подключений к сетям 4G вырастет с 56% в 2020 году до 71% в 2025 году в АТР (за исключением Китая).

Для сетей 3G и 2G к 2025 году будет наблюдаться снижение доли до 11% (с 20% в 2020 г.) и 6% (с 23% в 2020 г.) соответственно.

Динамика доли подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в Северной Америке в 2020-2025 гг. представлена на рисунке ниже.

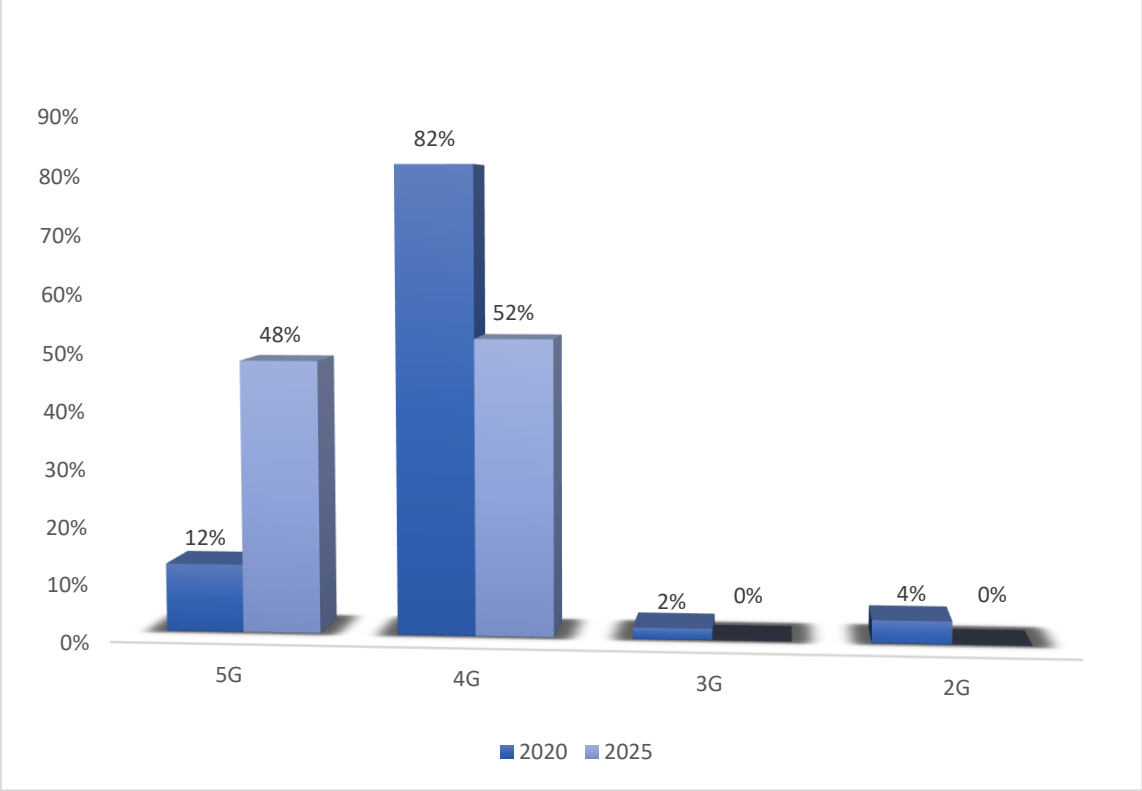


Рисунок 2.4. Доля подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в Китае в 2020 г. и 2025 г., %

Источник: GSMA[44]

Текущий сегмент WWAN в Китае в аспекте мобильных сетей характеризуется следующими особенностями:

[44] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

- сети 3G и 2G играют относительно низкую роль в мобильных подключениях. Согласно данным за 2020 год, на сети 3G приходится 2% подключений, на сети 2G 4%;
- доминирующую роль в текущей ситуации играют сети 4G – на них приходится 82% всех мобильных подключений;
- сети 5G являются относительно развитыми и используются в 12% случаев.

Согласно прогнозу GSMA, доля сетей 5G вырастет в 4 раза – с 12% в 2020 году до 48% в 2025 году.

Таким образом, роль сетей 5G в Китае будет ключевой в перспективе ближайших 5 лет. Данная тенденция в целом схожа с рынком Северной Америки.

Повышение роли сетей 5G в Китае будет происходить за счет снижения доли подключений к сетям 4G. При этом прогнозируется, что доля подключений к сетям 4G сократится с 82% в 2020 году до 52% в 2025 году.

Роль сетей 3G и 2G практически полностью нивелируется, что связано с низкой текущей долей этих сетей.

Для оценки размеры рынка 5G по сравнению с другими сегментами была проанализирована динамика выручки компаний. Глобальная выручка компаний сегментов 2G, 3G и 4G в 2018-2021 гг. представлена на рисунке ниже.

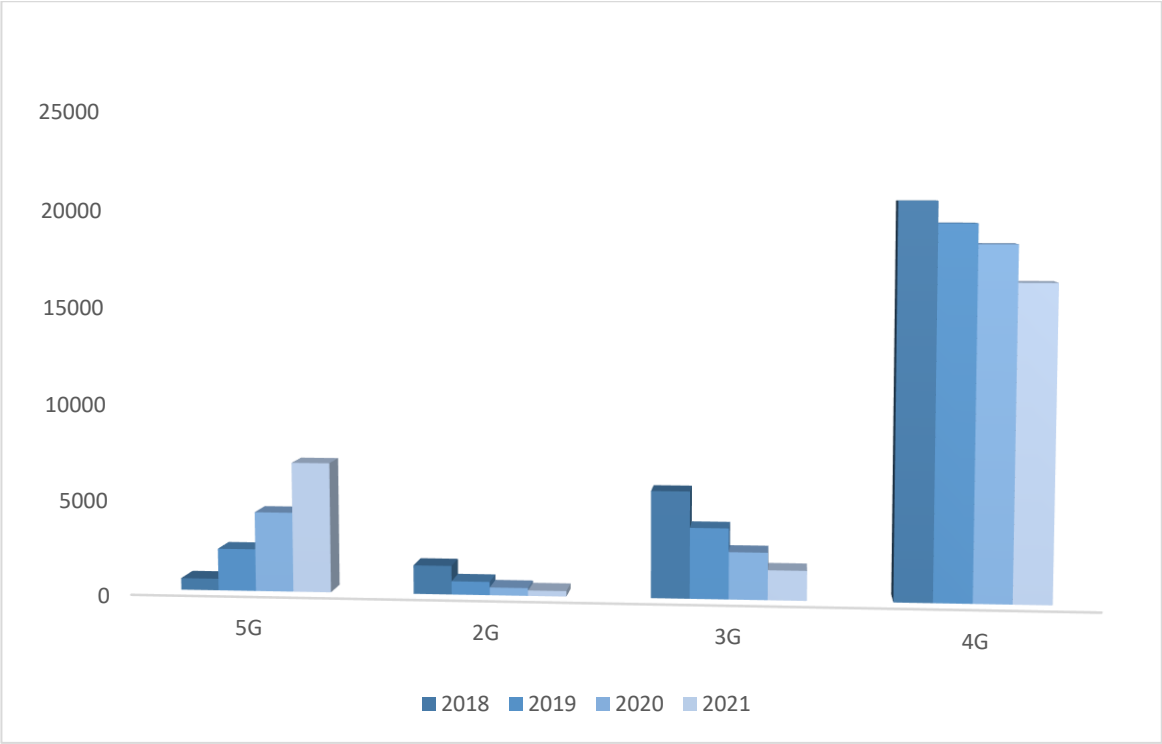


Рисунок 2.6. Глобальная выручка компаний сегментов 2G, 3G и 4G в 2018-2021 гг., млн. долл.

Источник: IDC[45]

На основе анализа данного графика был сделан вывод, что наихудшую динамику за 2020-2021 гг. показывают компании сегмента 3G и 4G (сокращение на 37% и на 10,5% соответственно).

Глобальная выручка компаний сегмента 5G в 2018-2025 гг. представлена на рисунке ниже.

[45] IDC. 5G Wireless: Market Size and Forecasts. URL: https://informationmatters.net/wp-content/uploads/2020/03/5G-Market-Size-Forecasts.pdf

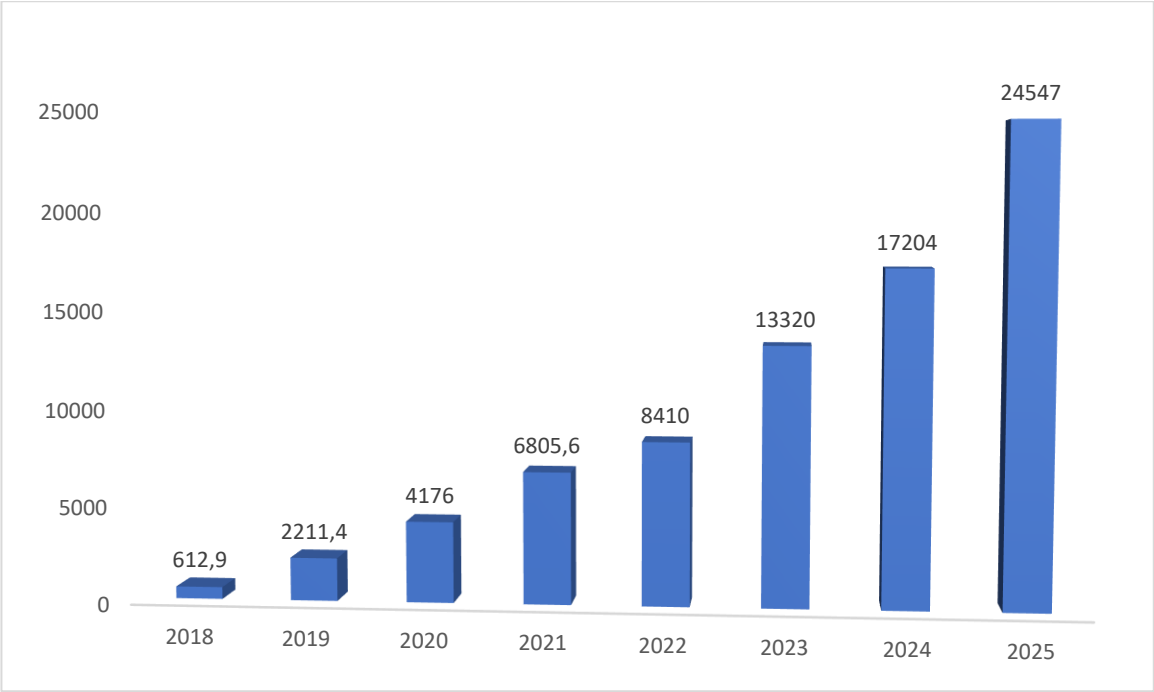


Рисунок 2.6. Глобальная выручка компаний сегмента 5G в 2018-2025 гг., млн. долл.

Источник: IDC[46]

Динамика рынка сетей 5G является положительной. Размер рынка составляет 6805,6 млн. долл. в 2021 году, рост на 63% по сравнению со значением 2020 года. В перспективе к 2025 году размер рынка составит 24,5 млрд. долл.

По результатам анализа сетей 5G в ключевых регионах мира можно сделать ряд выводов:

- лидирующими регионами, которые, согласно прогнозам, должны наиболее масштабно внедрить сети 5G, являются Северная Америка и Китай. В Северной Америке доля сетей 5G в общем числе мобильным подключений составит 51% в 2025 году. Для Китая данный показатель составит 48%;
- остальные регионы достаточно сильно отстают по скорости внедрения сетей 5G. Для Европы доля сетей 5G составит 35% от

[46] IDC. 5G Wireless: Market Size and Forecasts. URL: https://informationmatters.net/wp-content/uploads/2020/03/5G-Market-Size-Forecasts.pdf

совокупных мобильных подключений, для АТР (без Китая) 12%, для стран СНГ 14%;

- в целом доступ к сетям 5G в перспективе до 2025 года будет предоставлен в большинстве стран мира. Как видно на рисунке ниже, на всех континентах мира запуск коммерческих сетей 5G либо уже реализован, либо запланирован. Следовательно, масштаб реализации данной технологии связи является достаточно большим, чтобы оказать всестороннее воздействие на глобальную экономику;
- только в нескольких странах произошел фактический запуск сетей 5G (в первую очередь, лидерами являются США, Канада, Австралия, Китай, Франция, Германия, Испания). Для России, Индии, Мексики и ряда других стран сети 5G находятся на этапах тестирования и запуска.

Рисунок 2.7. Карта доступности сетей 5G в мире

Источник: GSMA[47]

Общий размер рынка технологий Massive MIMO составляет 7 млрд. долл., по оценкам за 2021 год[48]. Согласно существующим прогнозам, размер рынка составит 71 млрд. долл. к 2031 году (среднегодовой темп роста оценивается в 26,1%).

Географическая структура глобального рынка Massive MIMO представлена на рисунке ниже.

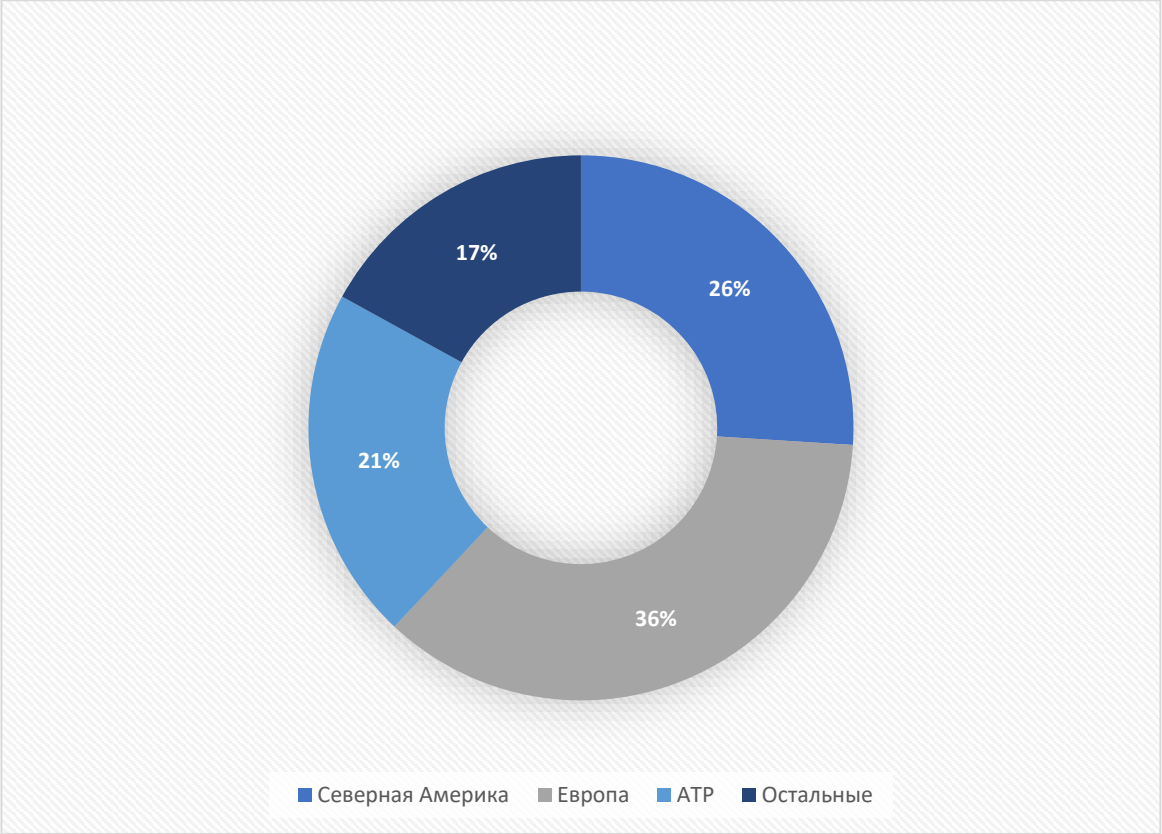


Рисунок 2.8. Географическая структура глобального рынка Massive MIMO за 2021 год, %

[47] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

[48] Fact Mr. Massive MIMO Market. Rising Adoption of 5G technology and High Penetration of Internet to Spur the Demand for Massive MIMO during 2021-2031. URL: https://www.factmr.com/report/massive-mimo-market

Источник: Fact Mr.[49]

Лидером является Европа (36% рынка), но также компании из Северной Америки (26%) и стран АТР (21%) играют важную роль.

Крупной частью рынка WWAN являются технологические решения LPWAN. Крупнейшими технологиями в настоящее время выступают LoRa, SigFox, NB-IoT.

Динамика рынков LoRa, SigFox, NB-IoT представлена на рисунке ниже.

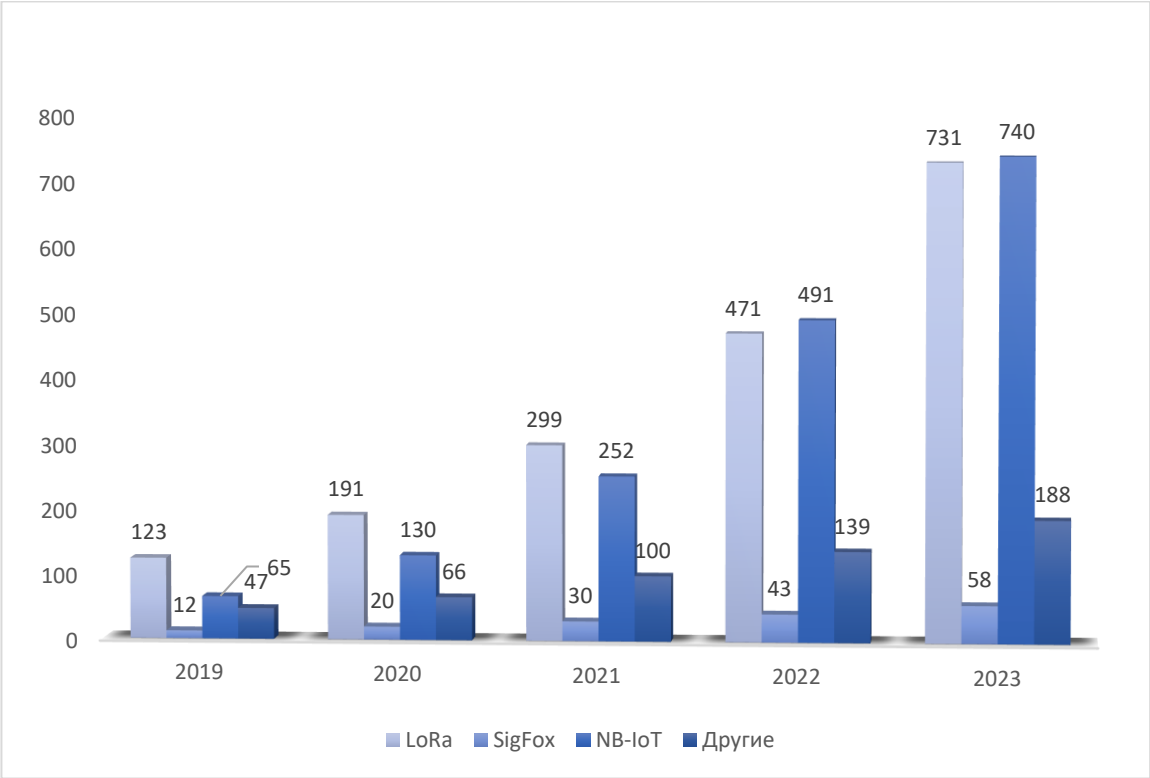


Рисунок 2.13. Динамика числа LPWAN подключений на основе технологий LoRa, SigFox, NB-IoT в мире 2019-2023 гг., млн. подключений

Источник: Statista[50]

[49] Fact Mr. Massive MIMO Market. Rising Adoption of 5G technology and High Penetration of Internet to Spur the Demand for Massive MIMO during 2021-2031. URL: https://www.factmr.com/report/massive-mimo-market

[50] Statista. LPWAN IC Market Share. URL: https://www.statista.com/statistics/880822/lpwan-ic-market-share-by-technology/

Согласно оценкам на 2021 год, лидирующей технологией является LoRa – на нее приходится 44% всех LPWAN подключений. Второе место занимает технология NB-IoT (37%). На долю SigFox приходится 4,4% всех подключений в мире.

Далее будет рассмотрен сегмент WLAN.

2.1.2 Беспроводная локальная сеть (WLAN)

Совокупный текущий размер рынка WLAN, рассчитанный на основе выручки компаний в данном сегменте, оценивается в 6,35 млрд. долл. в 2020 году (рисунок ниже).

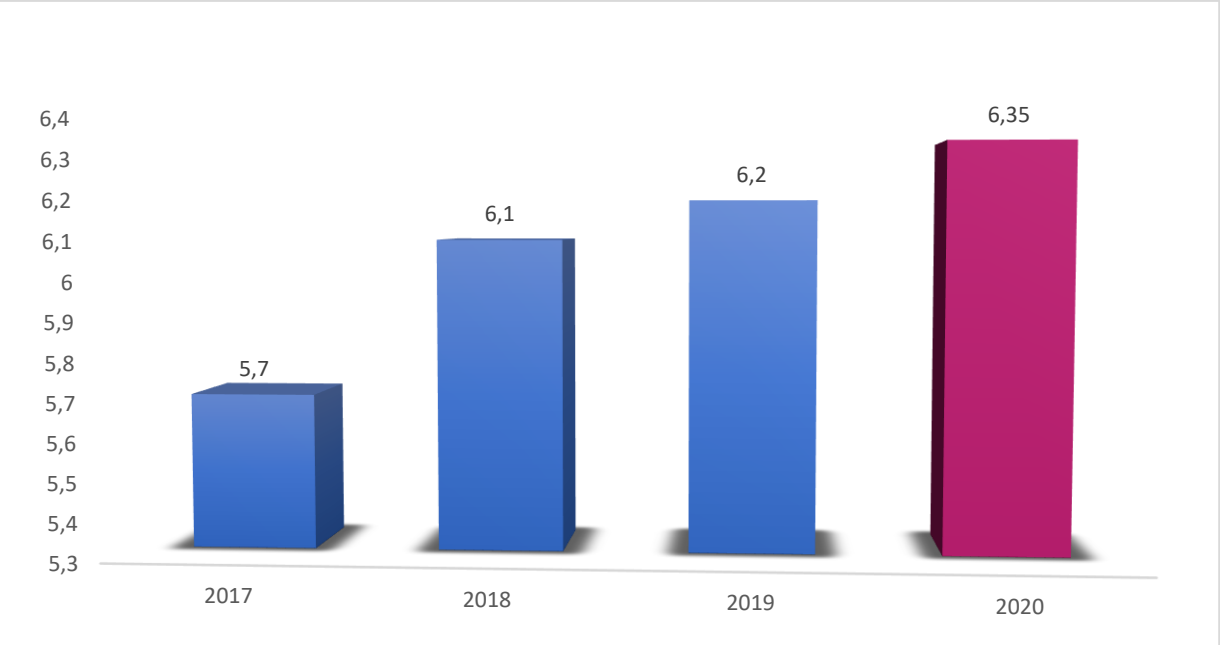


Рисунок 2.9. Глобальная выручка компаний в сегменте WLAN в 2017-2020 гг., млрд. долл.

Источник: Statista[51]

Средний темп роста рынка составляет 3,7%. За 2020 год рост произошел на 2,4% по сравнению с 2019 годом.

[51] Statista: Enterprise WLAN Market Size. URL: https://www.statista.com/statistics/1136752/enterprise-wlan-market-size-2017-2019/

Согласно прогнозу агентства Market Research Future[52], среднегодовой темп роста глобального рынка WLAN на протяжении 2020-2026 гг. составит 26%. При этом, по оценкам специалистов, размер рынка WLAN составит 40 млрд. долл. в 2026 году.

Глобальная структура рынка WLAN в 2019 году и прогноз для 2026 года представлены на рисунках ниже.

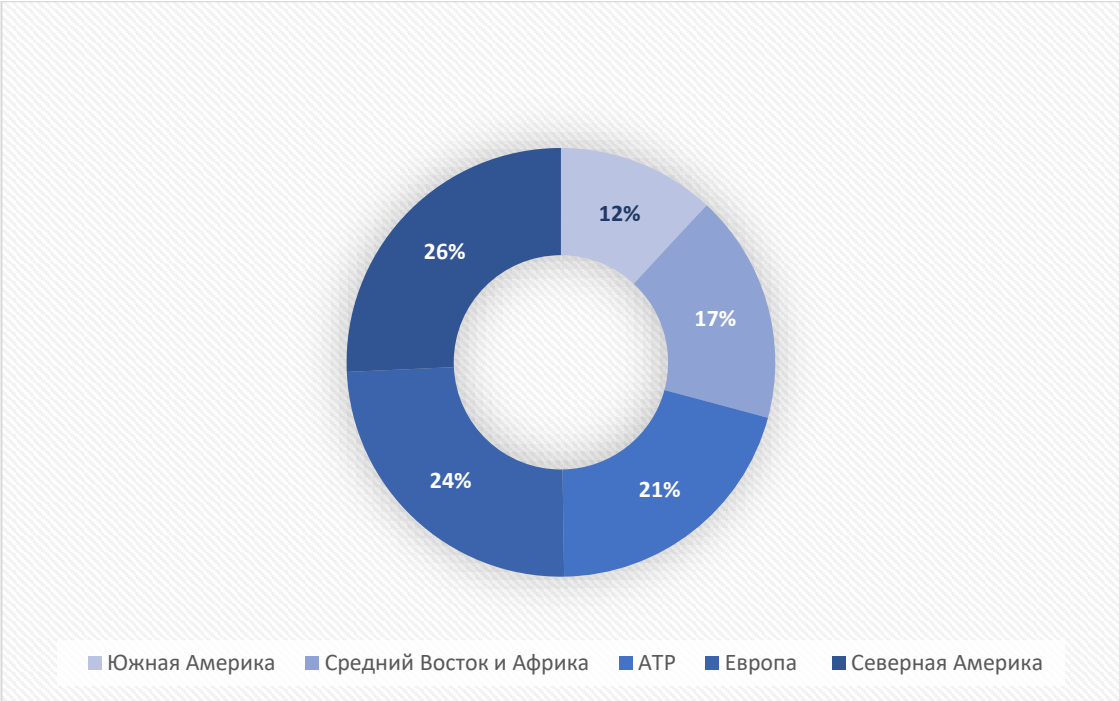


Рисунок 2.10. Глобальная структура рынка WLAN в 2019 году, %

Источник: Market Research Future[53]

[52] Market Research Future. Global WLAN Market Research Report- By component (controller, router, switch, AP), By technology standards (802.11a/b/g, 802.11n, 802.11ac). URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/wlan-market-1012

[53] Market Research Future. Global WLAN Market Research Report- By component (controller, router, switch, AP), By technology standards (802.11a/b/g, 802.11n, 802.11ac). URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/wlan-market-1012

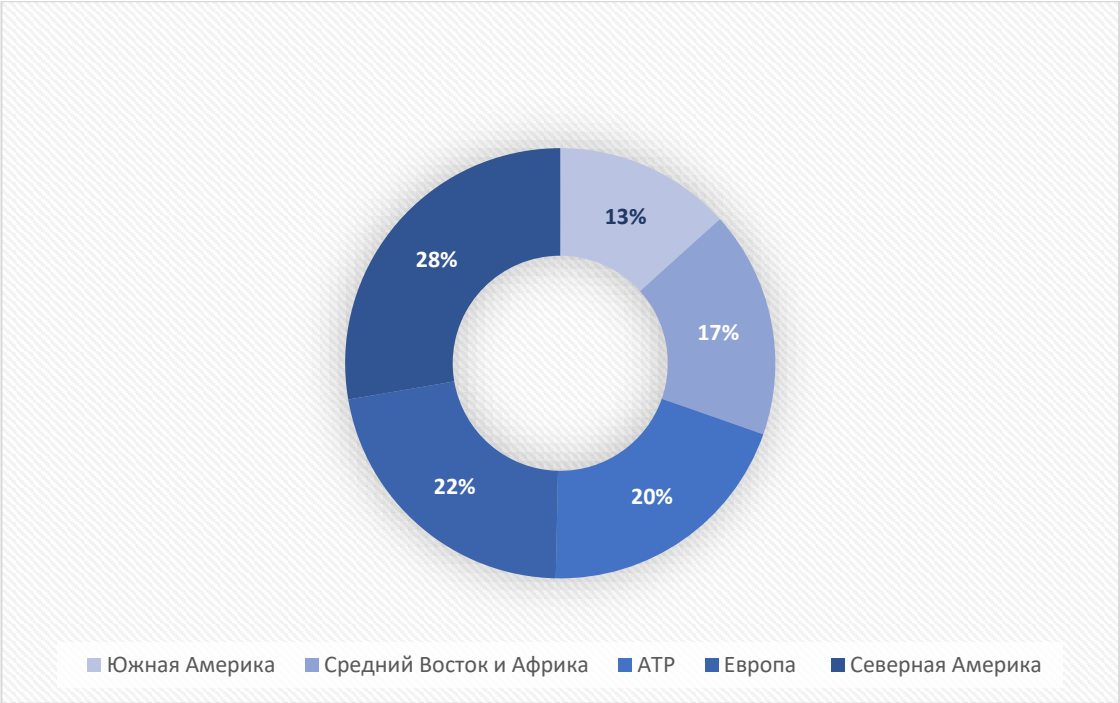


Рисунок 2.11. Глобальная структура рынка WLAN в 2026 году, %

Источник: Market Research Future[54]

Лидирующим регионом является Северная Америка, по данным за 2019 год – рынок данного региона составляет 27,7% от глобального.

На втором месте находится Европа (22%), на третьем – страны АТР (22%).

Стоимостные значения объема рынка WLAN за 2019 и 2026 гг. представлены на рисунке ниже.

[54] Market Research Future. Global WLAN Market Research Report- By component (controller, router, switch, AP), By technology standards (802.11a/b/g, 802.11n, 802.11ac). URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/wlan-market-1012

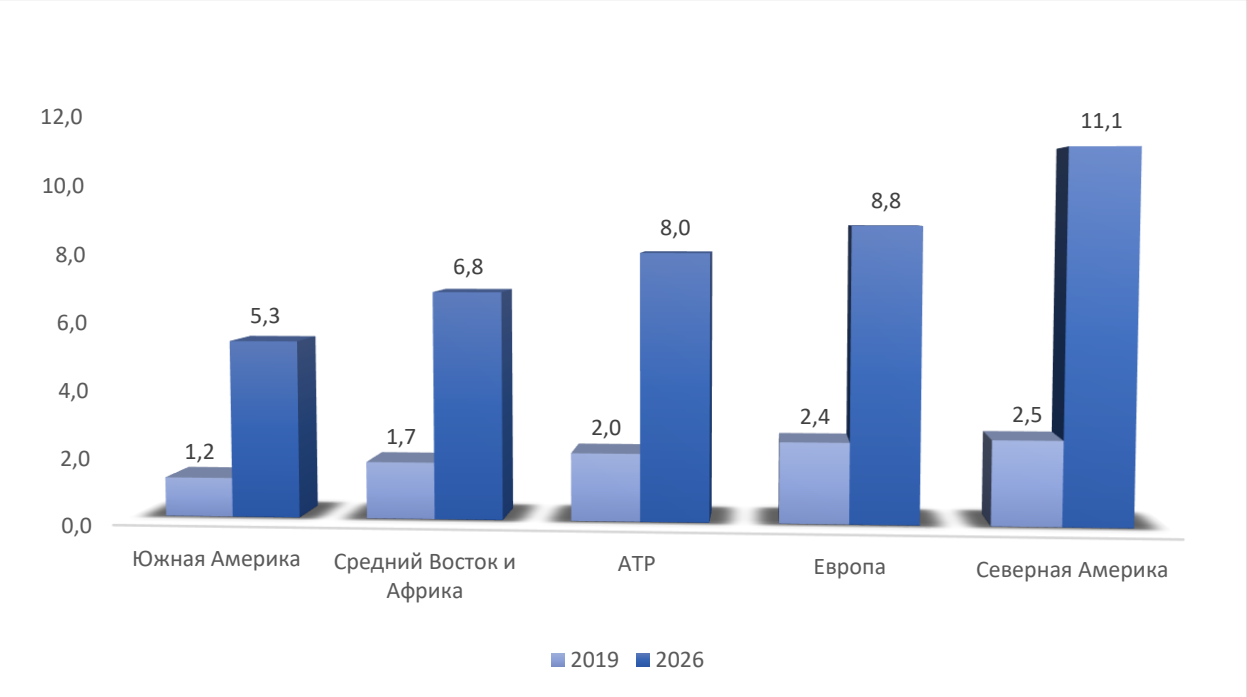


Рисунок 2.12. Объем рынка WLAN за 2019 и 2026 гг. в мире, млрд. долл.

Источник: Market Research Future[55]

Таким образом, согласно данным Market Research Future, Северная Америка покажет более быстрый рост рынка WLAN в 2020-2026 гг. (344%), чем Европа (267%) и страны АТР (300%).

Далее будет рассмотрен рынок технологии Wi-Fi 6. Для оценки размера этого рынка были проанализированы продажи микросхем Wi-Fi 6.

Размер глобального рынка микросхем Wi-Fi 6 оценивается в 13,6 млрд. долл. в 2021 году (рисунок ниже).

[55] Market Research Future. Global WLAN Market Research Report- By component (controller, router, switch, AP), By technology standards (802.11a/b/g, 802.11n, 802.11ac). URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/wlan-market-1012

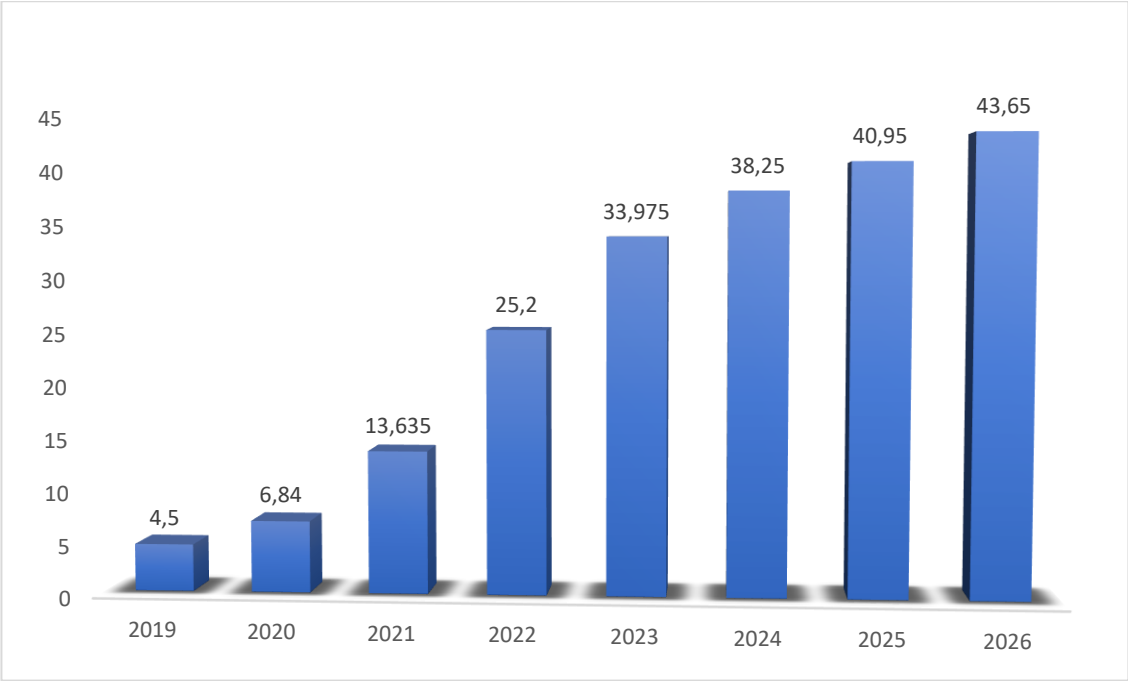


Рисунок 2.14. Размер глобального рынка микросхем Wi-Fi 6 в 2019-2026 гг., млрд. долл.

Источник: Grand View Research[56]

Как можно видеть, наиболее высокие темпы роста рынка микросхем Wi-Fi 6 будут наблюдаться в 2021 (99%), 2022 (85%) и 2023 (35%) годах. В дальнейшем рынок Wi-Fi 6 будет стабилизироваться на уровне 38-45 млрд. долл.

На рисунке ниже представлена географическая структура рынка Li-Fi за 2020 год.

[56] Grand View Research. Wi-Fi 6 chipset market. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wi-fi-6-wi-fi-6e-chipset-market-report

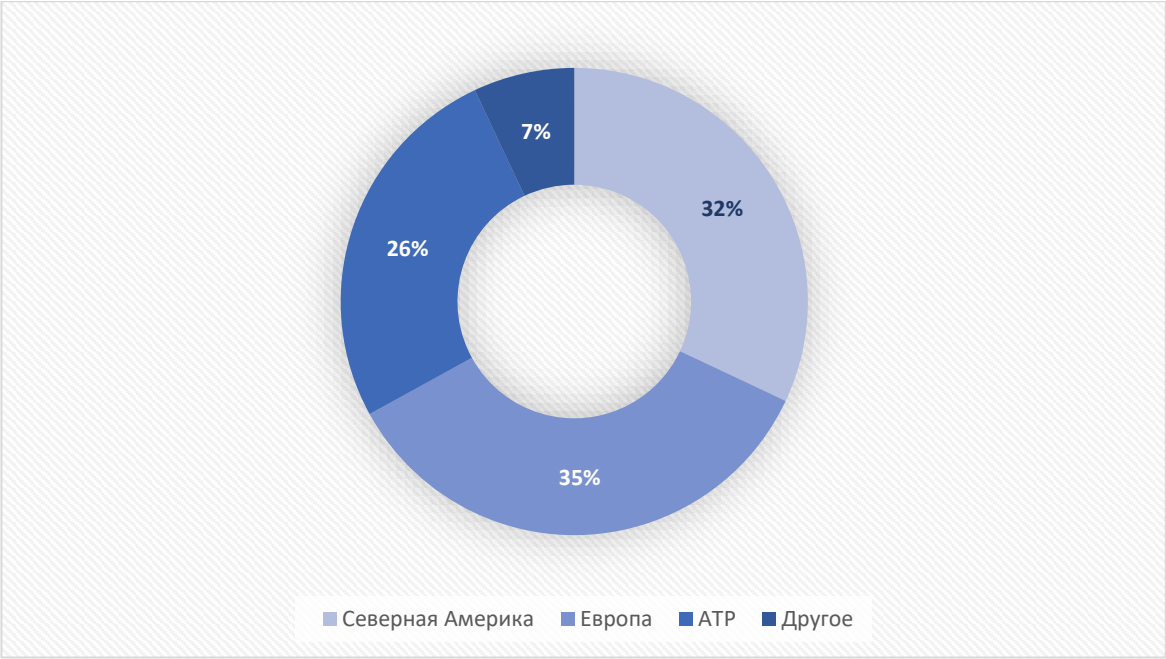


Рисунок 2.15. Географическая структура глобального рынка Li-Fi за 2020 год

Источник: Industry ARC[57]

На Европу приходится 35% глобальной выручки на рынке Li-Fi, на Северную Америку 32%, на страны АТР 26%.

Далее будет представлен анализ сегмента WMAN.

2.1.3 Беспроводные сети масштаба города (WMAN)

Ключевым рынком в данном сегменте является рынок технологий связи высокоскоростного широкополосного доступа WiMax. Размер рынка технологий WiMax оценивается в 1,89 млрд. долл., по данным за 2021 год[58].

Прогноз динамики рынка за 2021-2026 гг. представлен на следующем рисунке.

[57] Industry ARC. LiFi Market Analysis. URL: https://www.industryarc.com/Report/15025/LiFi-market.html

[58] Fact Mr. Massive MIMO Market. Rising Adoption of 5G technology and High Penetration of Internet to Spur the Demand for Massive MIMO during 2021-2031. URL: https://www.factmr.com/report/massive-mimo-market

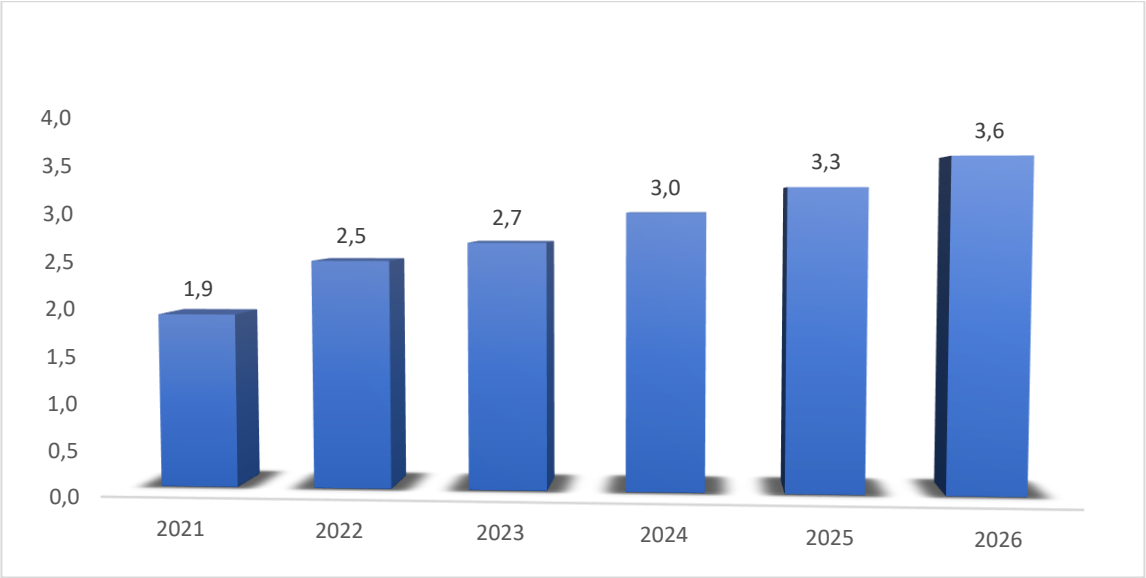


Рисунок 2.16. Динамика размера глобального рынка WiMax в 2021-2026 гг., млрд. долл.

Источник: Data Intelo[59]

Среднегодовой темп роста данного рынка составляет 14% на протяжении 2021-2026 гг. При этом после 2023 года прогнозируется снижение темпа роста рынка WiMax.

2.1.4 Беспроводные персональные сети (WPAN) и нательная компьютерная сеть (WBAN)

Среди технологий WPAN и WBAN наиболее развитой является Bluetooth. Далее будет рассмотрен рынок технологий Bluetooth.

Bluetooth с низким энергопотребление, согласно оценках экспертов, является наиболее быстрорастущим сегментом глобального рынка чипсетов Bluetooth на протяжении 2022-2030 гг. со средним темпом роста в 19,7% в год и объемом рынка 16,7 млрд. долларов к 2026 году[60].

---

[59] Data Intelo. Mobile WiMax Market Analysis. URL: https://dataintelo.com/report/mobile-wimax-market/

[60] Bluetooth Low Energy Market Overview. URL: https://www.industryarc.com/Report/187/bluetooth-smart-market-forecast.html

Рассматривая рынок Bluetooth в целом, ключевым показателем, который характеризует размер рынка Bluetooth, являются продажи Bluetooth устройств.

Как видно на рисунке ниже, в 2021 году объем продаж Bluetooth устройств составляет 4,5 млрд. штук.

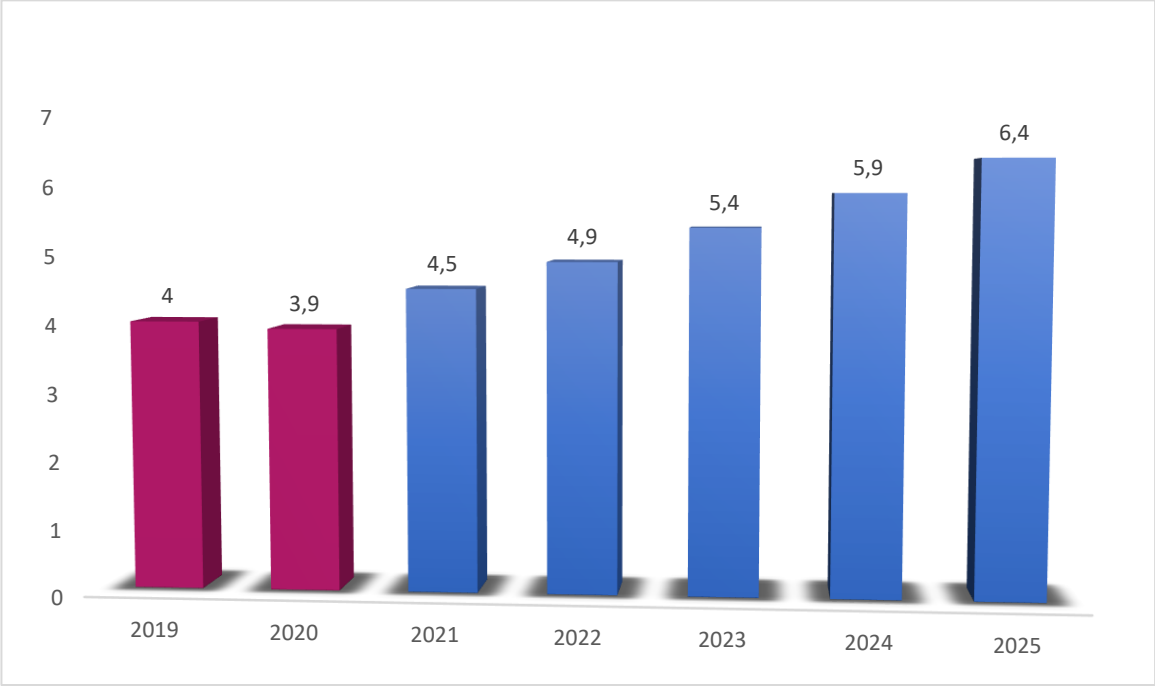


Рисунок 2.17. Динамика объема продаж Bluetooth устройств в мире в 2019-2025 гг., млрд. шт.

Источник: Bluetooth.com[61]

Согласно прогнозам, объем продаж Bluetooth устройств составит 6,4 млрд. шт. в 2025 году. Среднегодовой темп роста данного рынка составляет 8,3%.

Важно отметить, что в мире постепенно распространяется практика внедрения технологий Bluetooth в промышленности.

Ключевыми отраслями применения Bluetooth технологий являются следующие:

[61] Bluetooth Market Update. URL: https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2021/01/2021-Bluetooth_Market_Update.pdf

1. управление водными ресурсами. Мониторинг уровня воды, автоматизированное управление насосами и др.;
2. энергетическая отрасль. Автоматизированное управление энергетическими системами, сенсоры и др.;
3. добывающая промышленность. Управление контроллерами, повышение энергоэффективности при добыче ресурсов.

В среднем рынок промышленных Bluetooth решений будет расти на 19% на протяжении 2022-2028 гг., согласно прогнозам экспертов[62].

2.1.5 V2X

V2X является быстрорастущим рынком технологий. Развитие технологий автономного вождения находит поддержку со стороны городских властей, а также оценивается инвесторами, как перспективное направление для долгосрочных вложений[63].

Исследователи из Allied Market Research оценивают глобальный рынок V2X в 2565,6 млн. долл. и прогнозируют, что рынок вырастет до 11718,7 млн. долл. к 2027 году.

Таким образом, уже в настоящее время наблюдается достаточно широкое распространение технологий V2X. В первую очередь, это касается связи автомобильных средств между собой.

Динамика объемов различных сегментов V2X представлена на рисунке ниже.

[62] Industrial Bluetooth Market Report - Global Forecast To 2028. URL: https://dataintelo.com/report/global-industrial-bluetooth-market/
[63] Szalavetz A. Digital entrepreneurs in factory economies. – 2020.

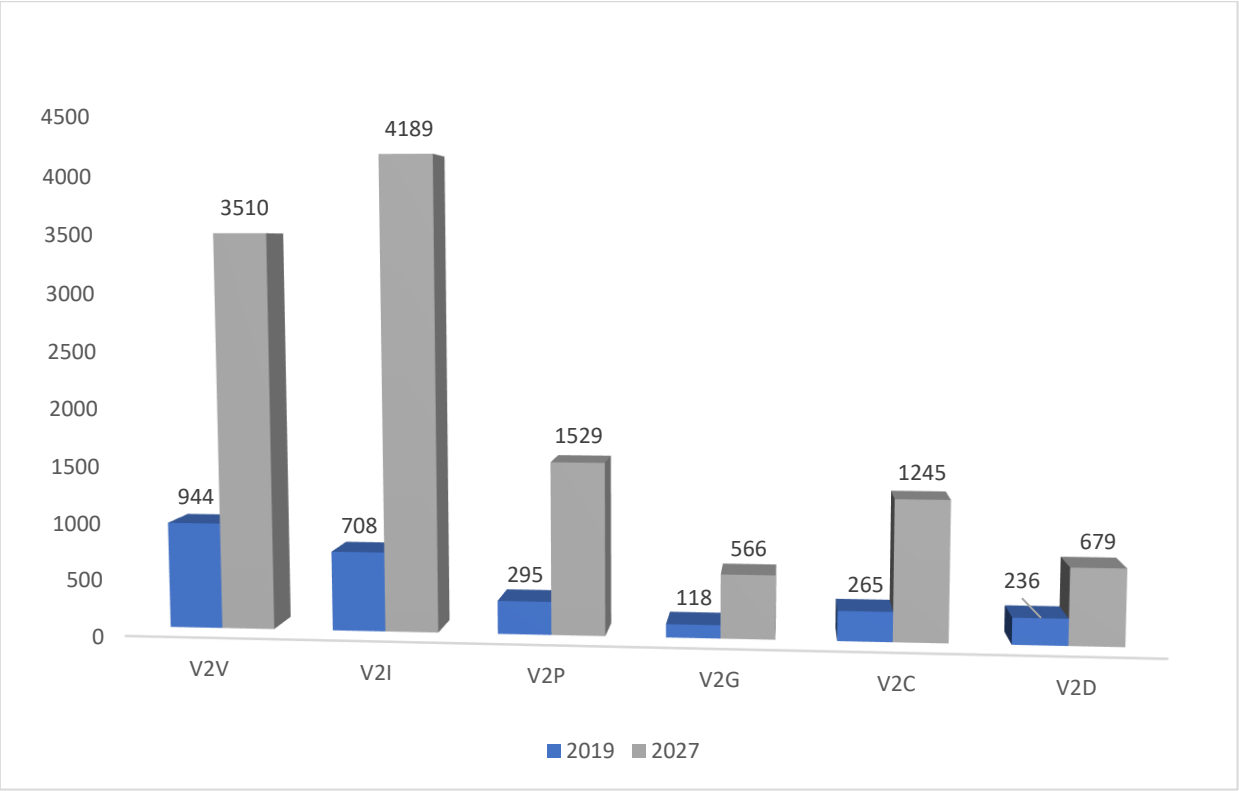


Рисунок 1. Динамика объемов различных сегментов V2X, млн. долл.

Источник: Allied Market Research [64]

Согласно существующим прогнозам, крупнейшим сегментом рынка будет V2I – его размер вырастет с 708 млн. долл. до 4,189 млрд. долл. к 2027 году. Вторым по размеру будет сегмент V2V – он вырастет с 944 млн. долл. до 3,51 млрд. долл. к 2027 году.

Географическая структура рынка V2X представлена на рисунке ниже.

[64] Automotive V2X Market Statistics. URL: https://www.alliedmarketresearch.com/automotive-v2x-market-A07120

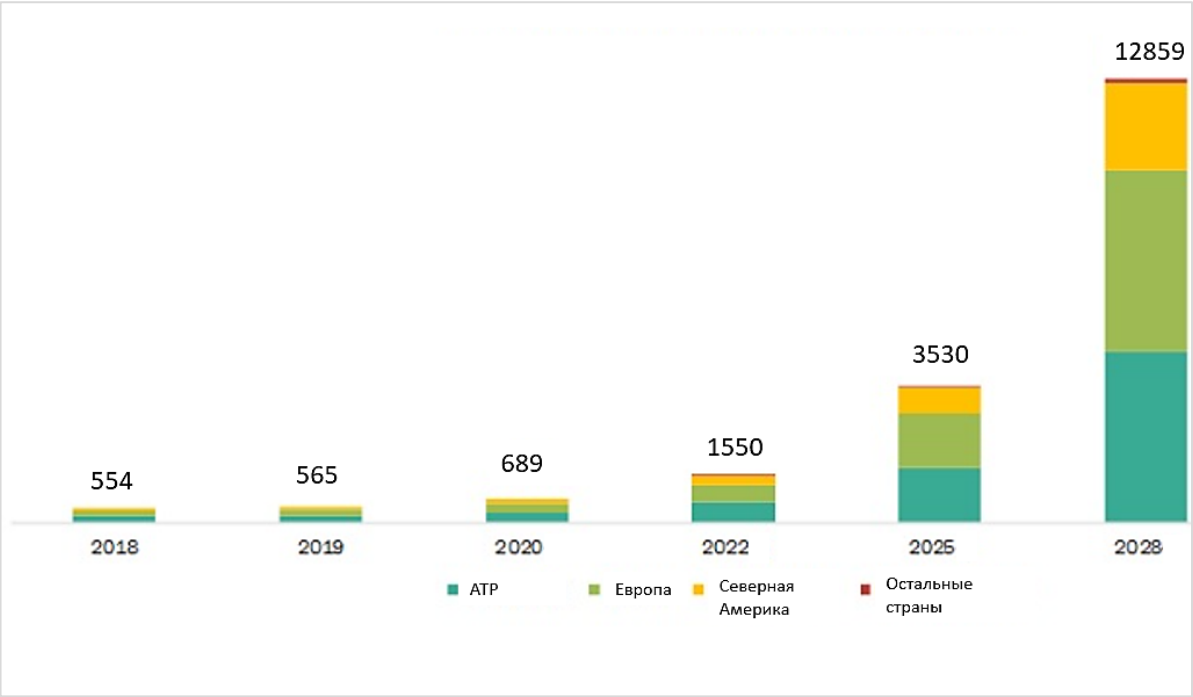


Рисунок 1. Географическая структура рынка V2X

Источник: Markets and Markets[65]

В настоящее время рынок V2X относительно равномерно распределен между странами АТР, Европой и Северной Америкой. Но к 2028 году прогнозируется, что лидерами станут 2 региона – АТР и Европа. На них будет приходиться почти 75% всего рынка.

Если рассматривать рынок с точки зрения технологий связи, то можно выделить 2 ключевых сегмента: выделенная радиосвязь ближнего действия и сотовая связь. Выделенная радиосвязь ближнего действия (англ. Dedicated Short Range Communication, DSRC) представляет собой беспроводную связь для передачи данных на коротком расстоянии.

Технологическая структура глобального рынка V2X в 2020 году представлена на рисунке ниже.

[65] Automotive V2X Market. Markets and Markets. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-vehicle-to-everything-v2x-market-90013236.html

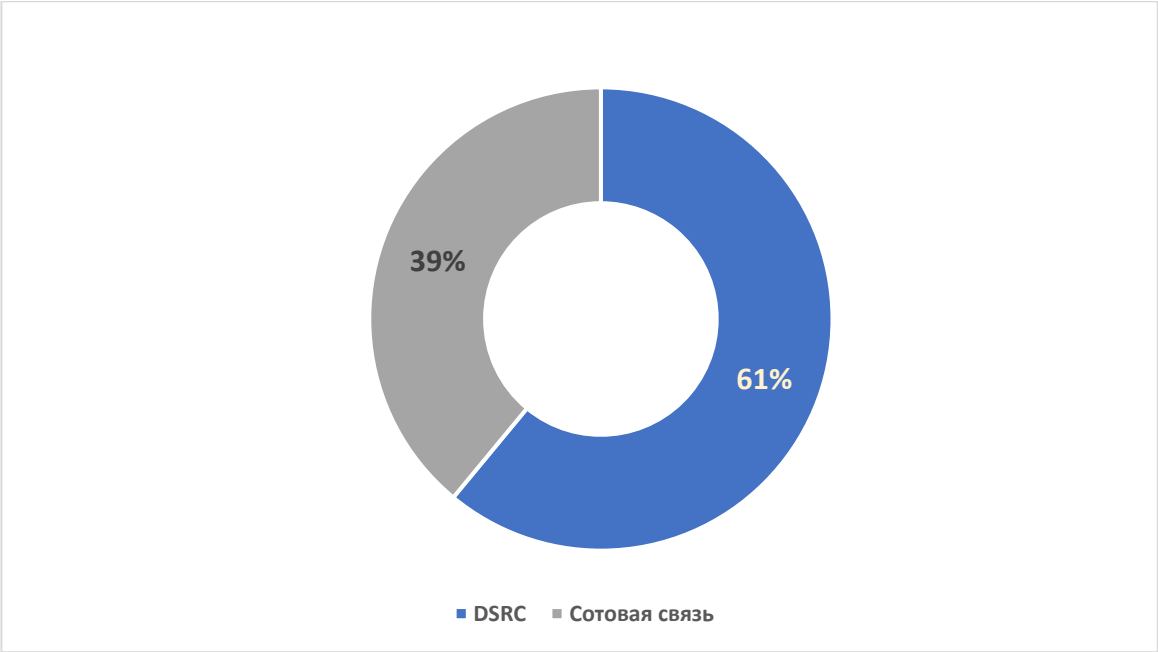


Рисунок 1. Технологическая структура глобального рынка V2X в 2020 году

Источник: Fortune Business Insights [66]

Таким образом, в настоящее время доминирующей технологией связи на рынке V2X является выделенная радиосвязь ближнего действия (61% рынка). Но специалисты из Fortune Business Insights прогнозируют, что в будущем решения на основе сотовой связи будут показывать более высокие темпы роста из-за более низкой стоимости и более высокой гибкости в аспекте передачи данных на больших расстояниях, что играет важную роль для обеспечения безопасного вождения.

2.2 Объем и динамика сегментов рынка в России

На рисунке ниже представлено распределение долей различных сетей WWAN для стран СНГ, включая Россию.

[66] Automotive V2X Market. Fortune Business Insights. URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/automotive-v2x-market-103320

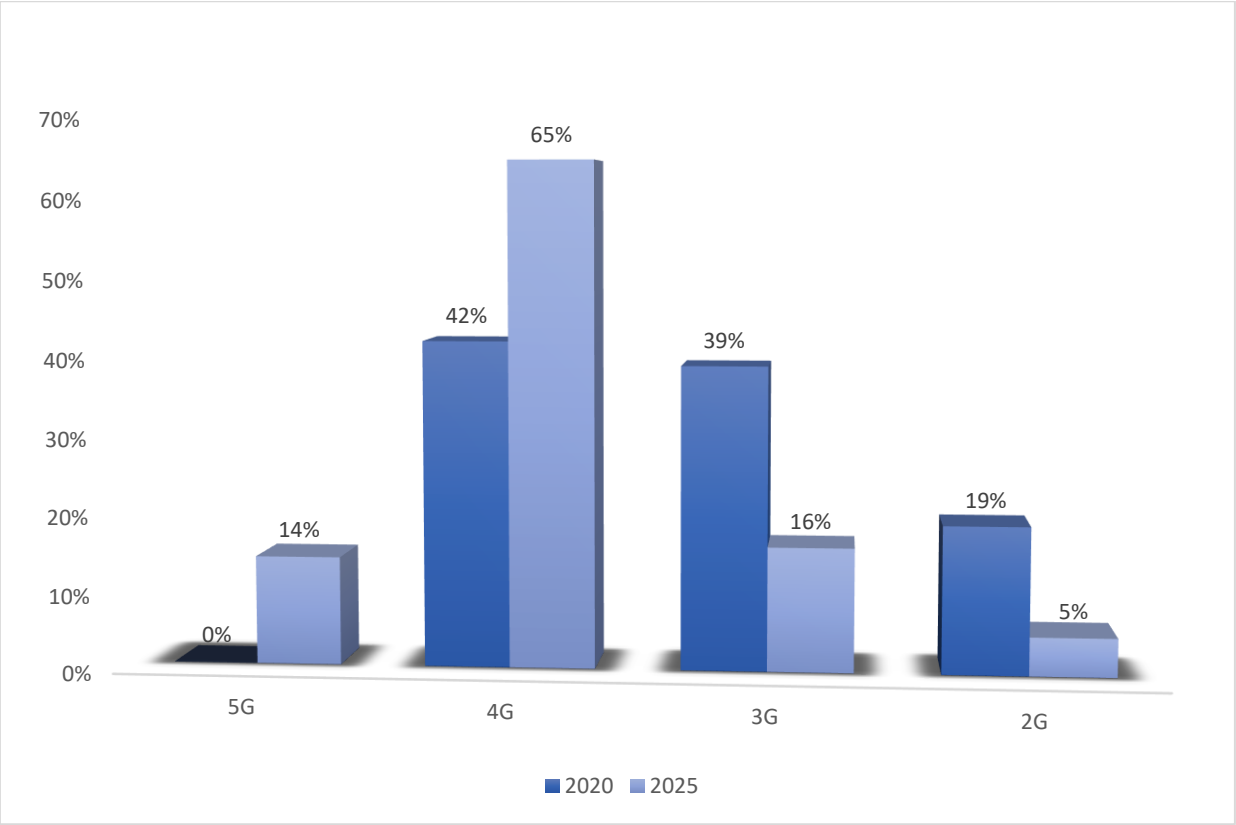


Рисунок 2.5. Доля подключений к сетям 5G, 4G, 3G и 2G в совокупном числе мобильных подключений в странах СНГ в 2020 г. и 2025 г., %

Источник: GSMA[67]

Сети 5G не запущены в России и других странах СНГ в настоящее время. Прогнозируется, что к 2025 году доля подключений к сетям 5G составит 14% от всех мобильных подключений. Это является относительно небольшим значением по сравнению с наиболее развитыми регионами мира и соответствует уровню стран АТР (за исключением Китая).

По данным за 2020 год, в странах СНГ ключевую роль играют сети 4G (42% всех подключений) и сети 3G (39% всех подключений). Для этих сетей прогнозируются разнонаправленные тенденции. Доля подключений к сетям 4G вырастет до 65% к 2025 году, в то время как доля подключений к сетям 3G сократится до 16% к этому периоду.

[67] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

Роль сетей 2G будет постепенно уменьшаться – прогнозируется, что доля подключений к этим сетям сократится с 19% в 2020 году до 5% в 2025 году.

Если рассматривать технологии LPWAN в России, то важно отметить отечественный стандарт NB-Fi. Данный стандарт вступил в силу в 2019 году и является открытым протоколом беспроводной передачи данных. Стандарт предназначен для обеспечения функционирования устройств Интернета вещей и является конкурентоспособным в технологическом плане относительно лидеров рынка LPWAN технологий: LoRa, SigFox, NB-IoT. Из них наиболее близкой технологией по характеристикам является стандарт SigFox. Тем не менее, рынок оборудования на основе NB-Fi пока достаточно трудно оценить по причине небольшого количества реализованных проектов. Среди таких проектов можно выделить систему микроконтроллера STM32 и радиотрансивера AX5043 от «ВАВИОТ».

В сегменте WLAN наиболее развитой технологией в России является публичный Wi-Fi. Рынок публичного Wi-Fi доступа в России имеет следующие характеристики[68]:

1. общий размер рынка составляет 6,5 млрд. руб. в 2020 году. Рост на 1,5% за год;
2. на крупнейшие 3 компании приходится 76% всего рынка (МаксимаТелеком 52%, Ростелеком 15%, ЭР-Телеком 9%);
3. количество точек выросло со 166 тыс. в 2019 году до 178,1 тыс. в 2020 году. Рост составил 7,3%.

Тем не менее, технология Wi-Fi 6, которая в качестве главного преимущества предлагает поддержание высокой скорости передачи данных при множестве подключенных устройств (пропускная способность 9,6 Гбит/с),

[68] Публичный Wi-Fi доступ в России: итоги 2020 года. TMT Консалтинг. URL: http://tmt-consulting.ru/wp-content/uploads/2021/04/%D0%A2%D0%9C%D0%A2-%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3-Wi-Fi-2020-1.pdf

еще не используется в России. Тем не менее, прогнозируется рост рынка данной технологии к 2026 году[69].

Остальные технологии нового поколения связи в России находятся на раннем этапе развития, поэтому количественная оценка для них не была произведена.

2.3 Анализ драйверов и барьеров развития рынка

В данном параграфе будет проведен анализ ключевых драйверов и барьеров развития рынка нового поколения технологий связи.

Базовым драйвером, определяющим развитие рынка технологий нового поколения связи, является **цифровизация глобальной экономики.**

В рамках цифровизации глобальной экономики происходит трансформация традиционных бизнес-моделей в различных отраслях. В частности, цифровые технологии заменяют аналоговые сигналы в транспорте для того, чтобы обеспечить коммуникации между транспортными средствами и объектами инфраструктуры. Именно цифровые технологии позволяют реализовать элементы автономного вождения, концепцию умного города и проекты в области V2X.

Несмотря на то, что в целом внедрение цифровых технологий является общим трендом для глобальной экономики, существуют отличия в темпах развития этого процесса в разных регионах. На рисунке ниже представлена динамика ранга цифровой конкурентоспособности для различных регионов мира.

[69] Wi-Fi 6 к 2026 году может стать основной точкой доступа к Сети. URL: https://www.vedomosti.ru/gorod/smartcity/articles/wi-fi-6

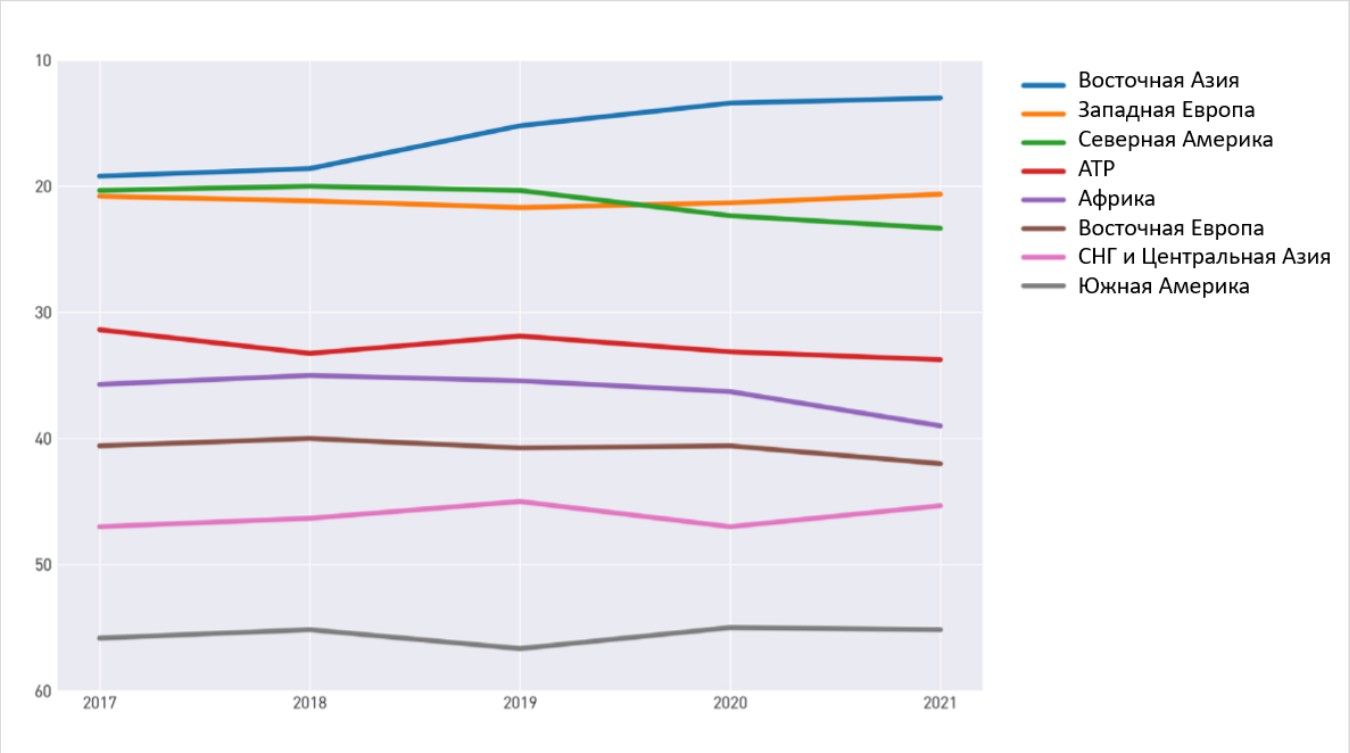


Рисунок 1. Динамика среднего ранга цифровой конкурентоспособности для различных регионов мира в 2017-2021 гг.

Источник: IMD[70]

Ранг цифровой конкурентоспособности показывает среднюю позицию, которую занимают страны региона в аспекте цифровой конкурентоспособности. Интегральный ранг цифровой конкурентоспособности включает в себя 3 субиндекса, ранг каждого из которых варьируется от 1 (наивысшая конкурентоспособность) до 63 (наименьшая конкурентоспособность):

1. технологическая трансформация (технологическая инфраструктура, рынок капитала, регулирование);
2. знания (таланты, обучение и наука);
3. будущая готовность (текущий уровень готовности компаний массово применять цифровые технологии).

Таким образом, за последние 5 лет наиболее высокий рост цифровой конкурентоспособности показали страны Восточной Азии и Западной Европы.

[70] IMD. World Digital Competitiveness Ranking. URL: https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness/

Южная Америка, страны СНГ и Центральной Азии показывают низкую цифровую конкурентоспособность.

Одним из главных драйверов, как было определено в п. 1.3, является **спрос на технологические решения Интернета вещей.**

Согласно существующим прогнозам, число межмашинных (M2M) подключений в мире уже к 2021 году составляет 3,3 млрд. (рисунок ниже). При этом за последние 5 лет данный показатель утроился.

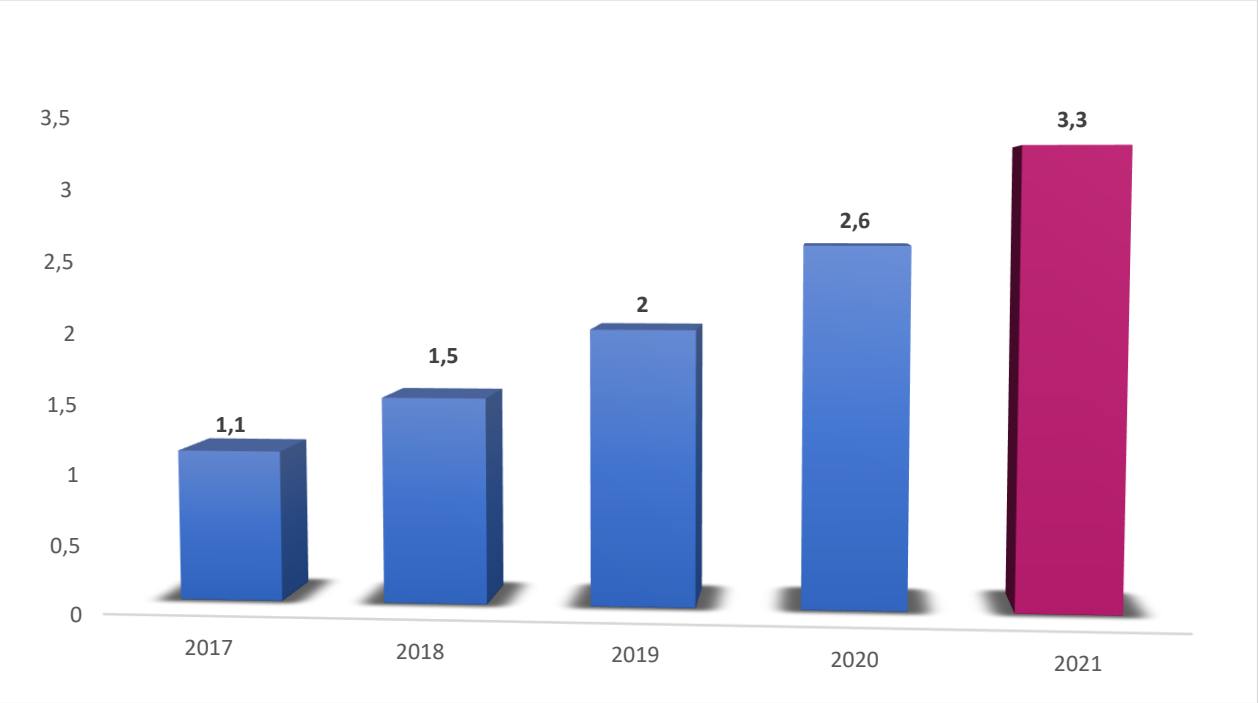


Рисунок 2.18. Число межмашинных (M2M) подключений в мире в 2014-2021, млрд. ед.

Источник: Mordor Intelligence[71]

На Индустрию 4.0 в целом, согласно прогнозам McKinsey, будет приходиться 22,3 млн. проектом применения технологии сетей 5G в 2030 году[72].

[71] Mordor Intelligence. 5G Infrastructure Market Analysis. URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/5g-infrastructure-market

[72] McKinsey. The 5G era. New horizons for advanced electronics and industrial companies. URL: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/the%205g%20er

Таким образом, именно Индустрия 4.0 является главным драйвером для развития рынка нового поколения технологий связи.

Прогнозируемое число проект применения технологии сетей 5G для умных городов и умных офисов будет составлять 8,4 млн. и 4,2 млн. соответственно.

Динамика прогнозируемого числа проектов применения технологии сетей 5G для крупнейшего сегмента (Индустрия 4.0) представлена на рисунке ниже.

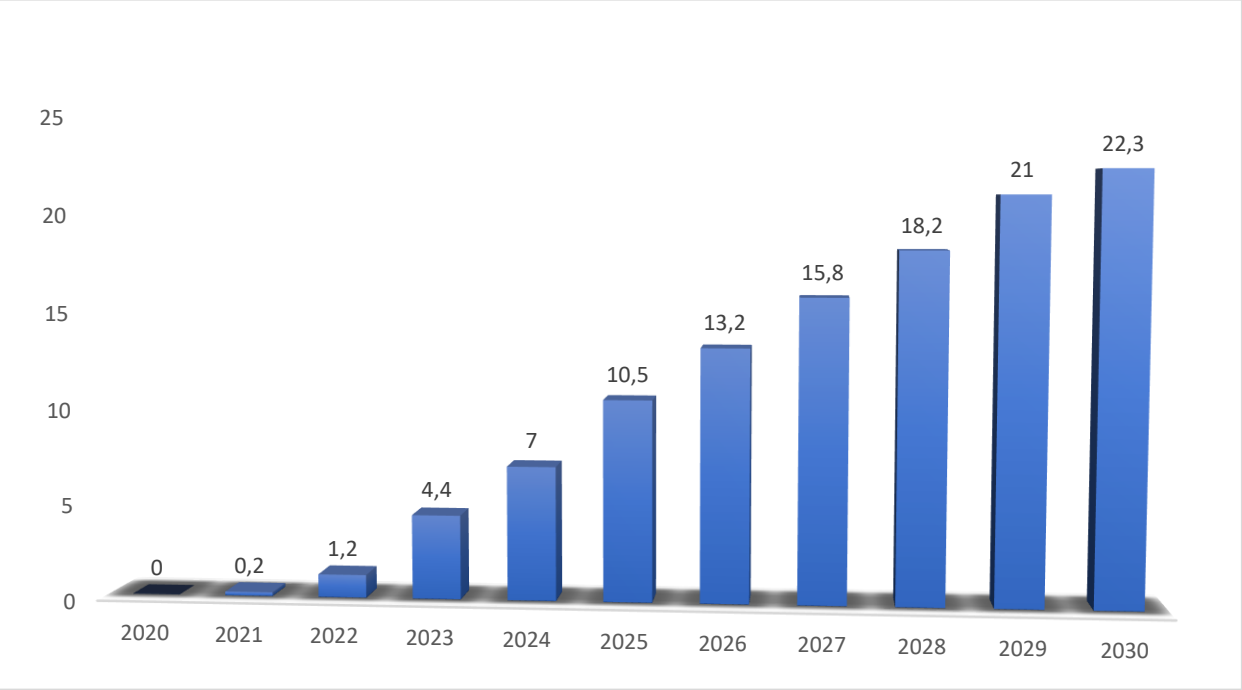


Рисунок 2.19. Прогнозируемое число проектов применения технологии сетей 5G для Индустрии 4.0 в 2020-2030 гг., млн. ед.

Источник: McKinsey[73]

Первые примеры применения уже сформировались к 2021 году, но наиболее динамичный рост прогнозируется в 2023-2029 гг.

---

a%20new%20horizons%20for%20advanced%20electronics%20and%20industrial%20companies/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies.pdf

[73] McKinsey. The 5G era. New horizons for advanced electronics and industrial companies. URL: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/the%205g%20era%20new%20horizons%20for%20advanced%20electronics%20and%20industrial%20companies/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies.pdf

Важно отметить, что сети 5G являются критически важными для развития транспорта. Данные сети характеризуются высокой пропускной способностью и низкой задержкой, что позволяет обеспечивать стабильную высокую передачу данных для большего числа устройств по сравнению с предыдущими поколениями связи. Для развития транспорта в рамках концепции умного города данные характеристики являются необходимыми.

В частности, развитие технологий автономного вождения можно рассматривать в качестве стимулирующего фактора развития технологий нового поколения связи. Рынок технологий автономного вождения, согласно прогнозам экспертов, вырастет с 23,3 млрд. долл. в 2020 году до 64,9 млрд. долл. в 2026 году (среднегодовой темп роста 22,7%)[74]. Спрос на данные технологии растет по причине потенциального сокращения издержек для многих отраслей, включая логистику.

Другим важным драйвером является **устойчивый рост рынка Интернет-сервисов.**

Ключевые технологии беспроводной связи напрямую зависят от развития рынка мобильного Интернета. Несмотря на то, что в наиболее развитых странах число абонентов мобильной связи является высоким, а сам рынок мобильной связи характеризуется насыщенностью, для менее развитых стран все еще существует часть населения, которая не имеет доступа к мобильному Интернету.

На рисунке ниже представлена динамика доли граждан, являющихся пользователями мобильного Интернета.

[74] Global Autonomous Cars Market. Facts & Factors. URL: https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/08/06/2276438/0/en/At-22-7-CAGR-Global-Autonomous-Cars-Market-Share-Revenue-Expected-to-Reach-USD-64-88-Billion-by-2026-FnF-Research.html

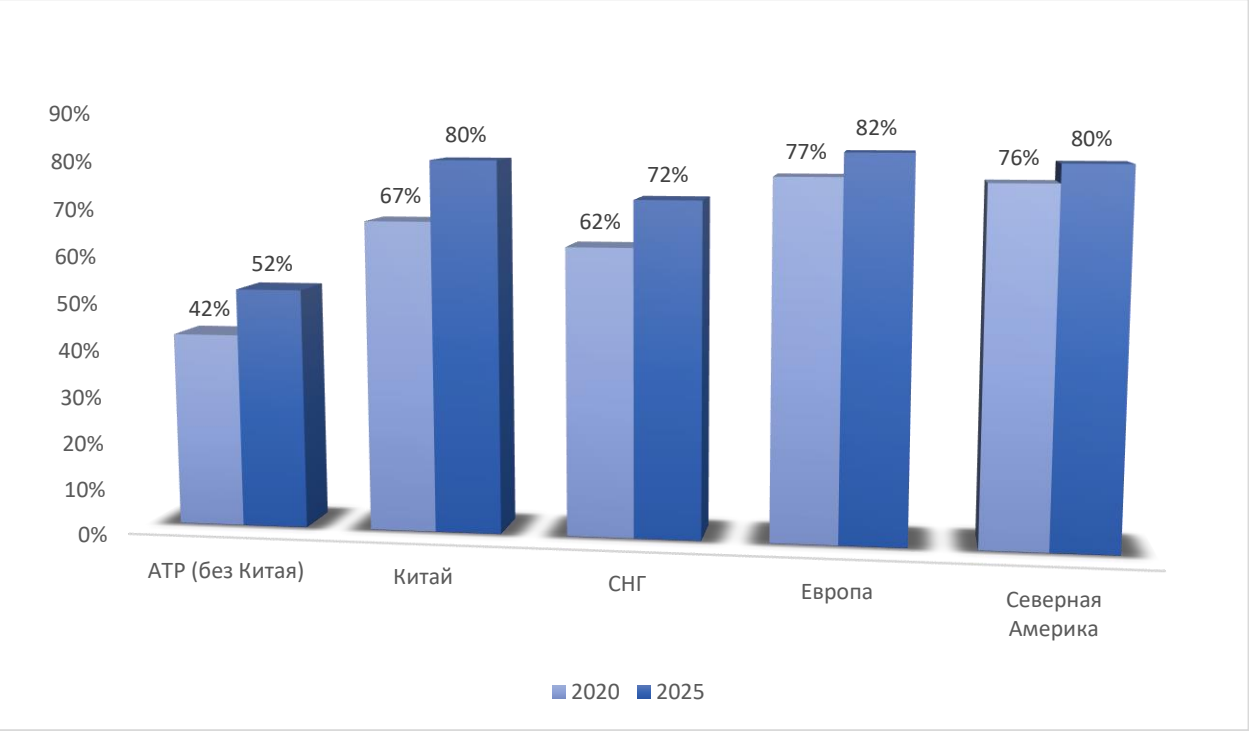


Рисунок 2.20. Динамика доли граждан, являющихся пользователями мобильного Интернета, в 2020 г. и 2025 г., %
Источник: GSMA[75]

На основании проведенного анализа динамики числа подключений к мобильному интернету и динамики глобального рынка Интернет-сервисов можно сделать следующие выводы:

1. наиболее высокий охват мобильным Интернетом существует в Европе (77% населения являются пользователями мобильного Интернета в 2020 году). На аналогичном уровне находится Северная Америка (76%);
2. наименьший охват характерен для АТР (за исключением Китая) - доля пользователей мобильного Интернета в совокупной численности населения составляет 42% в 2020 году;
3. страны АТР (без Китая), Китай и страны СНГ покажут наиболее динамичный рост числа абонентов мобильного Интернета. Для

[75] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

АТР к 2025 году рост доли граждан, являющихся пользователями мобильного Интернета, составит 10 п.п., для Китая 13 п.п., для СНГ 10 п.п.;

4. рост числа пользователей мобильного Интернета для Европы и Северной Америки будет несущественным (5 п.п. и 4 п.п. соответственно).

Несмотря на то, что прирост новых пользователей мобильного Интернета в Северной Америке и Европе будет несущественным, объем потребляемого трафика достаточно сильно вырастет.

На рисунке ниже представлена оценка объема потребляемого трафика мобильного Интернета на 1 абонента в месяц для Северной Америки, Европы и СНГ, стран АТР.

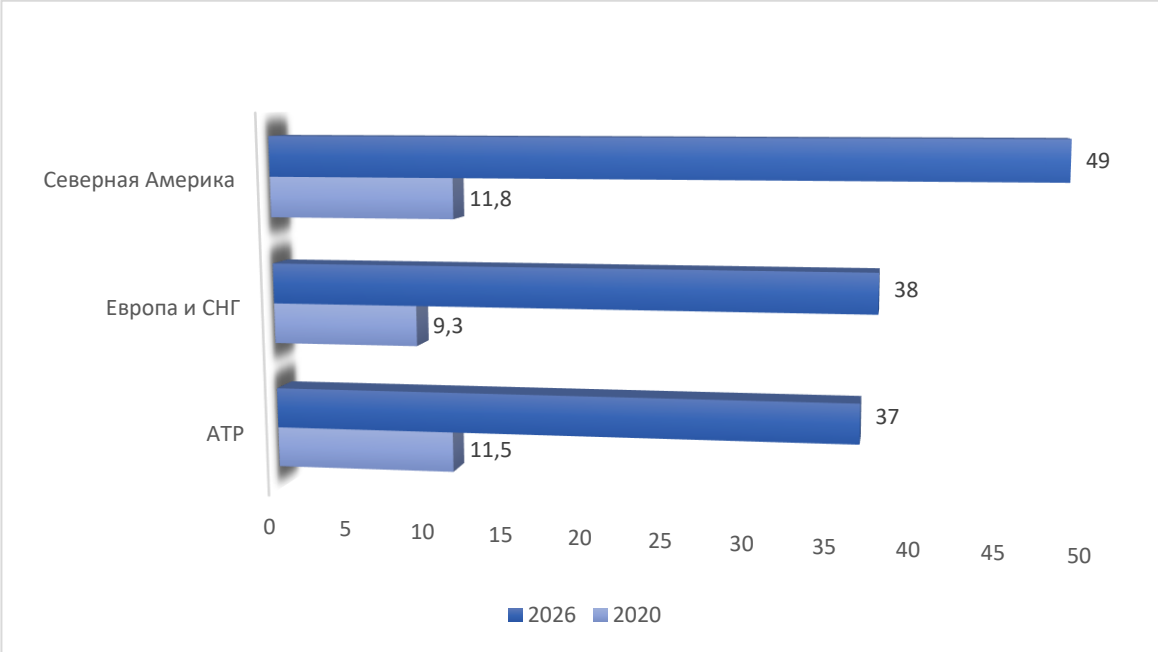


Рисунок 2.21. Объем потребляемого трафика мобильного Интернета на 1 абонента в месяц для Северной Америки, Европы и СНГ, стран АТР в 2020 г. и 2026 г., Гб

Источник: GSMA[76]

[76] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

Так, прогнозируется, что объем месячного мобильного трафика 1 абонента для Северной Америки в среднем вырастет с 11,8 Гб до 49 Гб. Для Европы и СНГ прогнозируется рост с 9,3 Гб до 38 Гб. Похожая динамика будет наблюдаться и для стран АТР – с 11,5 Гб до 37 Гб.

Важным драйвером также является рост международной пропускной способности, то есть максимальное количество передаваемых данных из страны в остальной мир.

Международная пропуская способность Интернета для различных регионов мира в 2015-2020 гг. представлена на рисунке ниже.

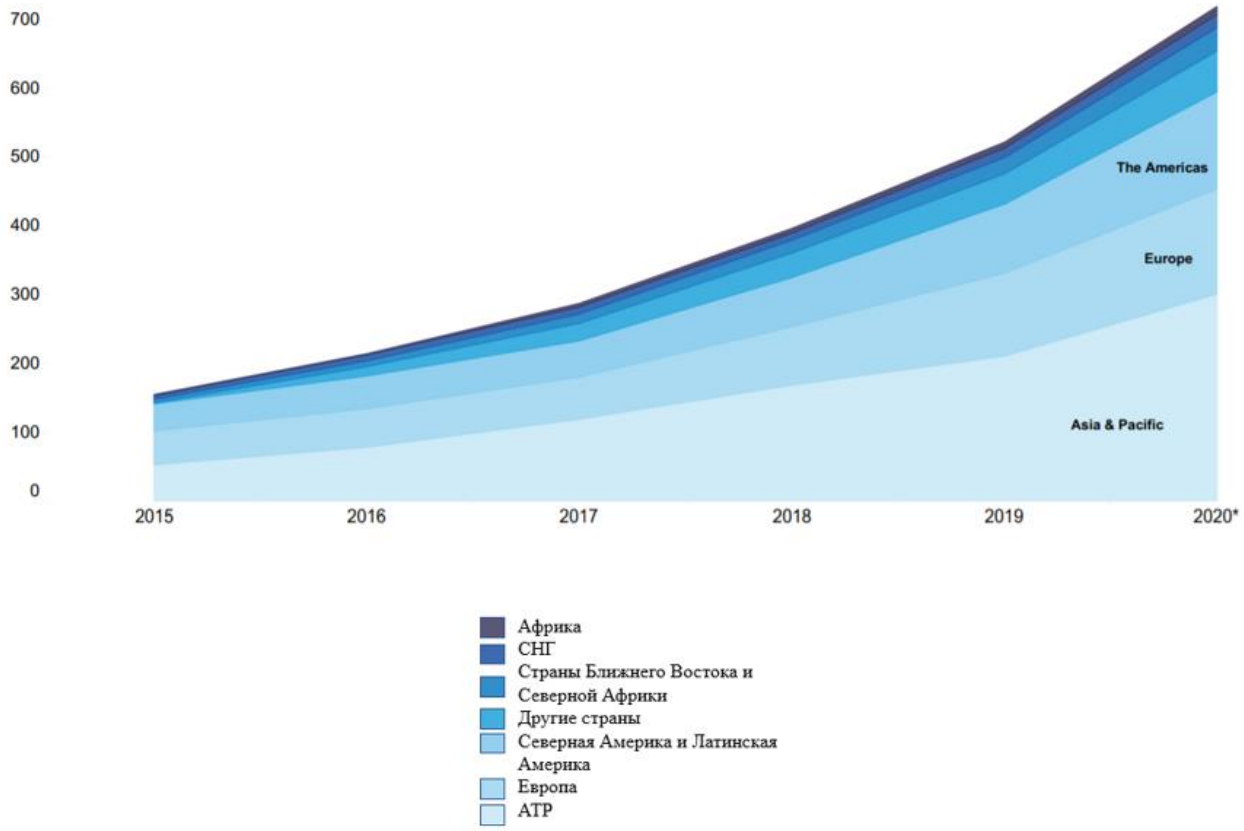


Рисунок 2.22. Международная пропуская способность Интернета для различных регионов мира в 2015-2020 гг., Тбит/с

Источник: ITU [77]

[77] ITU statistics. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf

Наибольшая международная пропускная способность Интернета характерна для стран АТР (до 300 Тбит/с в 2020 году), Европы (до 150 Тбит/с в 2020 году), Северной Америки (до 130 Тбит/с в 2020 году).

Далее будут рассмотрены такие драйверы, как **внедрение концепции умного города и рост спроса на умные дома.**

Согласно прогнозам GSMA, общий прирост новых подключений к устройствам Интернета вещей на протяжении 2020-2025 гг. составит около 13 млрд. ед. (рисунок ниже).

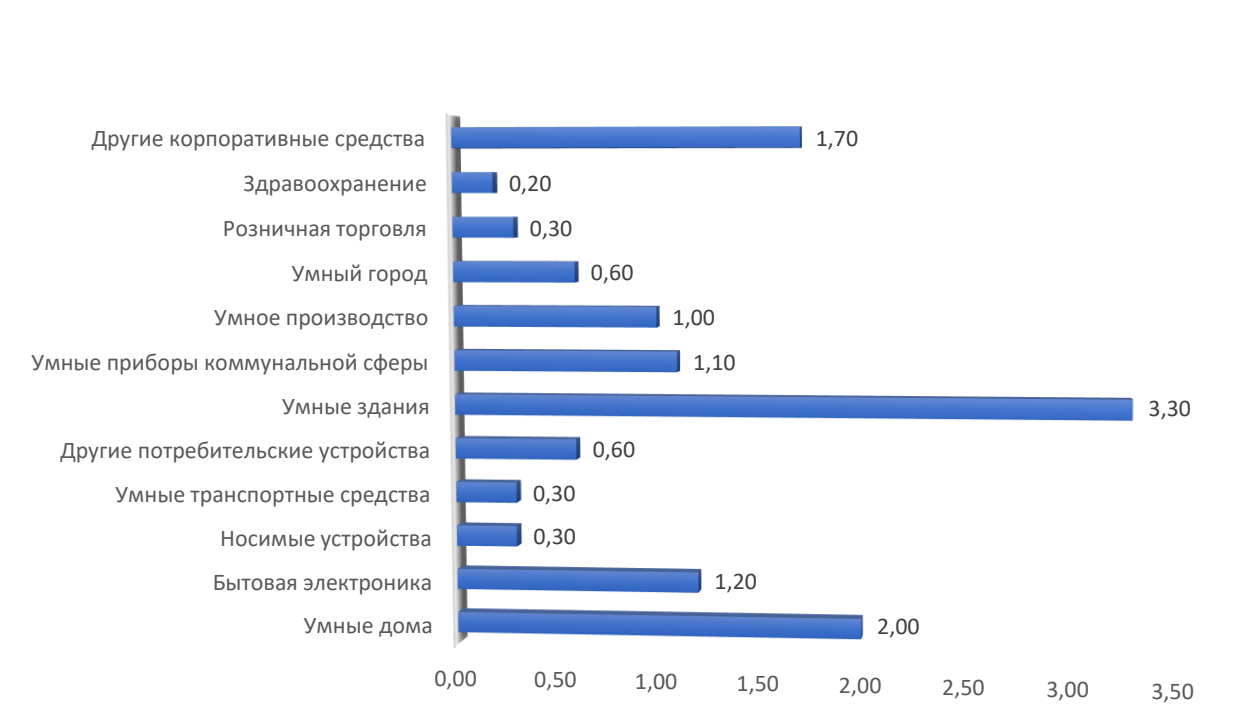


Рисунок 2.25. Прирост новых подключений к устройствам Интернета вещей по различным сегментам на протяжении 2020-2025 гг., млрд. ед.

Источник: GSMA[78]

На основании изложенного выше можно сделать ряд выводов:

[78] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

1. ключевыми сегментами Интернета вещей являются умные дома (2 млрд. новых подключений), умные здания (3,3 млрд. новых подключений), бытовая электроника (1,2 млрд. новых подключений), умное производство (1 млрд. новых подключений);
2. потребительский сегмент лидирует по приросту новых подключений, что связанно с большим числом потенциальных пользователей;
3. умные здания и умное производство, формируют основу спроса на новое поколение технологий связи со стороны B2B сегмента. В совокупности на них приходится 4,3 млрд. новых подключений к устройствам Интернета Вещей.

Если рассматривать абсолютные значения, то общее число подключений к устройствам Интернета вещей в 2020 году составляло 12 млрд. К 2025 году прогнозируется рост этого показателя до 24,6 млрд.

Далее будут проанализированы барьеры развития рынка нового поколения технологий связи.

Ключевой барьер, препятствующий развитию рынка нового поколения технологий связи – это **необходимость создания дорогостоящей инфраструктуры с высокой капиталоемкостью, необходимой для развертывания сетей 5G.**

Рассматриваемые технологии связи имеют высокую стоимость разработки и внедрения, что связано с их инновационным характером. В данном контексте способность и готовность участников рынка инвестировать в инфраструктуру является важным условием для полноценного развития технологий связи.

Динамика инвестиций мобильных операторов в мире за 2021-2025 гг. представлена на рисунке ниже.

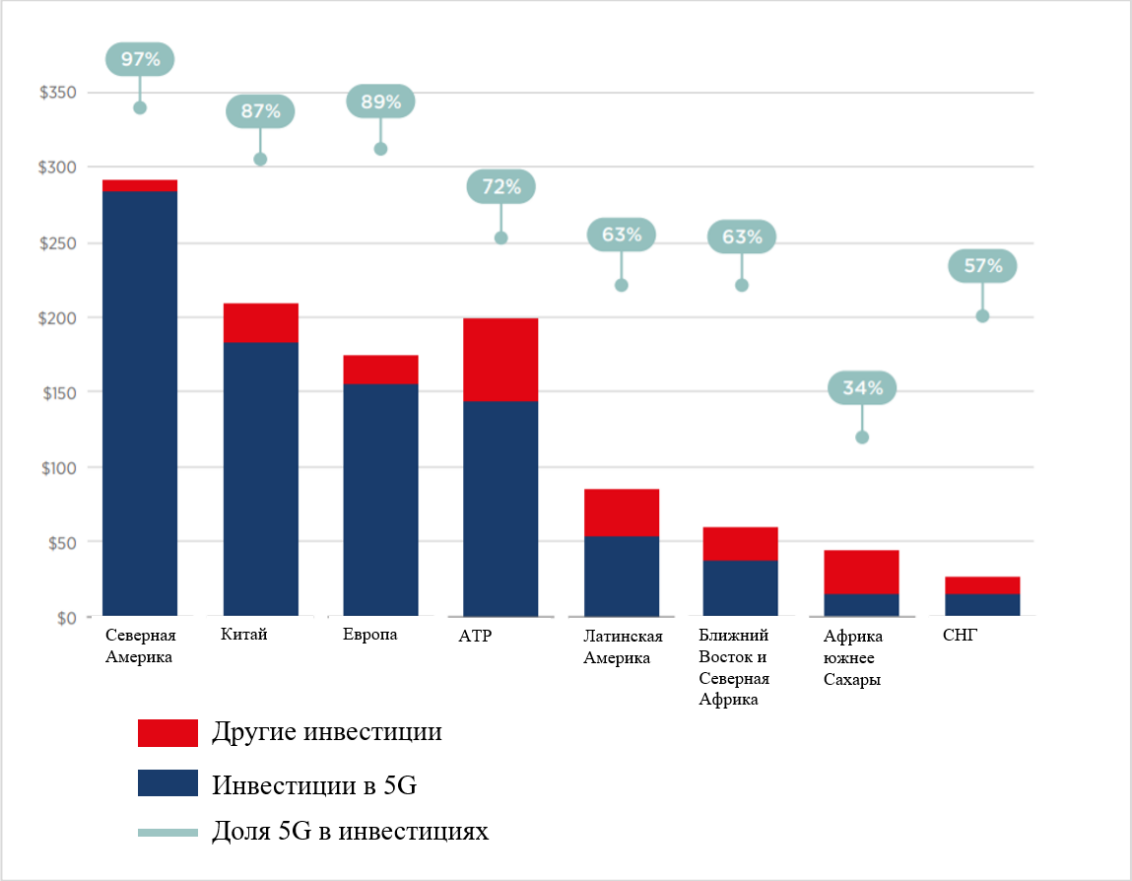


Рисунок 2.26. Динамика инвестиций мобильных операторов в мире за 2021-2025 гг., млрд. долл.

Источник: GSMA[79]

Наибольшие объемы инвестиций в инфраструктуру сетей 5G приходятся на Северную Америку (287 млрд. долл.), страны АТР (145 млрд. долл.), Китай (182 млрд. долл.) и Европу (159 млрд. долл.).

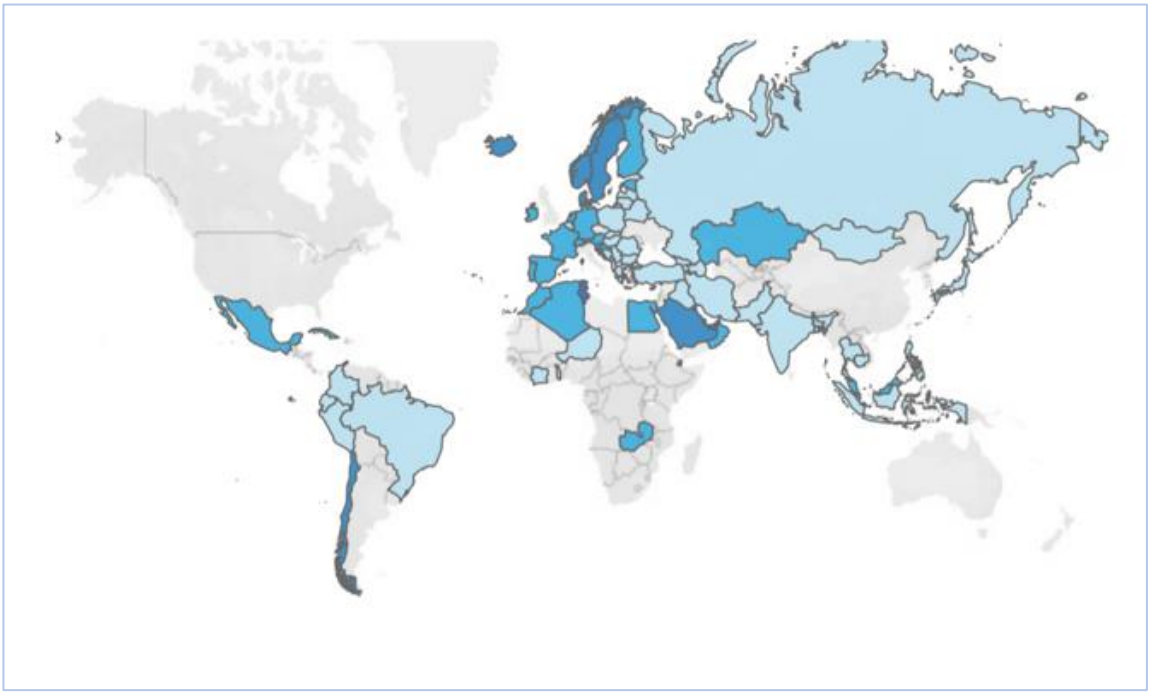
Важно отметить, что в странах СНГ наблюдаются наименьшие объемы инвестиций в инфраструктуру сетей 5G (менее 30 млрд. долл.). При этом общие инвестиции мобильных операторов также находятся на достаточно низком уровне, что связано с относительно низким уровнем экономического развития стран СНГ.

[79] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

В то же время эксперты отмечают, что развертывание сетей 5G возможно на базе существующей инфраструктуры операторов связи в условиях модернизации, которая также является капиталоемкой[80]. Опора на инфраструктурные решения прошлого поколения наиболее оптимальна при развитии сетей на низких и средних диапазонах радиочастот, в то время как сети 5G на высокочастотных диапазонах требуют внедрение принципиально новых технологических решений[81]. Высокочастотные диапазоны являются принципиально важными для развития сервисов Интернета вещей, т.к. для обеспечивают очень высокую пропускную способность.

Другой важный барьер – это **дефицит специалистов, имеющих навыки, знания и опыт в сфере внедрения новых технологических решений.**

На рисунке ниже представлено распределение доли специалистов, владеющими продвинутыми навыками в области ИКТ, в мире в 2019 году.



[80] 5G в России Перспективы, подходы к развитию стандарта и сетей. URL: https://www.pwc.ru/ru/assets/5g-research.pdf

[81] 5G в России Перспективы, подходы к развитию стандарта и сетей. URL: https://www.pwc.ru/ru/assets/5g-research.pdf

Рисунок 2.27. Доля людей, владеющими продвинутыми навыками в области ИКТ, в мире в 2019 году

Источник: ITU[82]

Таким образом, в большинстве стран (42 страны) наблюдается достаточно низкий уровень владения продвинутыми навыками ИКТ (до 5% населения). В частности, к этим странам относится и Российская Федерация. Только в четырех странах существует высокий уровень владения навыками ИКТ. Следовательно, данный барьер играет важную роль в определении среднесрочных и долгосрочных перспектив развития рынка нового поколения технологий связи.

Необходимо отметить, что в глобальном аспекте наблюдается феномен географической неравномерности развития рынка технологий нового поколения связи. Данный рынок практически не развит в Африке и Ближнем Востоке, в то время как Северная Америка и страны АТР являются лидерами. Причинами низкого развития технологий связи в Африке и Ближнем Востоке являются слабый спрос на технологические решения, недостаточное развитие инфраструктуры связи предыдущих поколений, дефицит финансовых ресурсов у телекоммуникационных корпораций, трудности из-за законодательного регулирования отрасли.

[82] ITU statistics. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf

2.4 Анализ ключевых тенденций развития рынка в средне- и долгосрочной перспективе

В числе ключевых тенденций развития рынка в средне- и долгосрочной перспективе рассматриваются следующие:

1. формирование экосистемы сетей 5G на крайне высоких частотах (30-300 ГГц) (миллиметровые волны);
2. рост популярности частных сетей;
3. рост спроса на более надежные общественные сети;
4. рост роли Северной Америки в сегментах WWAN и WLAN технологий;
5. распространение элементов концепции Bring Your Own Device на практике;
6. рост спроса на Bluetooth с низким энергопотреблением;
7. рост роли стран АТР в сегменте WPAN технологий;
8. запуск сетей, согласующихся с концепцией устойчивого развития.

Далее данные тенденции будут рассмотрены подробнее.

Формирование экосистемы сетей 5G на крайне высоких частотах (30-300 ГГц) (миллиметровые волны).

Большинство запущенных сетей 5G основаны на спектре 3,5 ГГц, что связано со способностью данного типа спектра поддерживать нужную пропускную способность и скорость передачи данных для ранних услуг связи сетей 5G. Тем не менее, вместе с развитием сетей 5G происходит рост нагрузки на сети, появляется запрос на более широкое покрытие сети при одновременном росте производительности.

Данную задачу помогает решить высокочастотный спектр, миллиметровые волны (от 30 ГГц). Сети на этом спектре могут обеспечивать высокую емкость сети, высокую скорость передачи данных, поддерживать необходимый уровень производительности. Эти характеристики особо важны

для развития решений умных зданий, умного города и автономного вождения автомобиля.

По данным на 2021 год, уже существуют примеры выделения спектра миллиметровых волн для сетей 5G. В частности, сети были запущены в США и Японии. В качестве примера можно привести Optus и Nokia, которые запустили тестовую сеть 5G на миллиметровых волнах 800 МГц в 2021 году[83]. Скорость передачи данных достигла 10 Гбит/с.

Вместе с появлением первым случаем внедрения сетей 5G на крайне высоких частотах на рынке появляются поставщики сетевого оборудования для данных сетей.

Рынок связи США является лидирующим по внедрению сетей 5G на миллиметровых волнах. Практически все ключевые мобильные операторы предлагают услуги сетей 5G на миллиметровых волнах для корпоративных клиентов. Тем не менее, данный тип спектра не используется для предоставления доступа физическим лицам.

Инициатива по внедрению сетей 5G на миллиметровых волнах в США поддерживается Федеральной комиссией по связи (Federal Communications Commission), главным регулятором на рынке. За счет этого обеспечивается опережающее развитие технологии 5G в стране.

В Японии использование сетей 5G на миллиметровых волнах также является достаточной распространенным в корпоративном сегменте. Ключевые игроки телекоммуникационного рынка (NTT Docomo, KDDI, Rakuten, SoftBank) предлагают данные услуги для корпоративных клиентов и планируют расширение возможностей сетей в дальнейшем. За 2020-2021 гг.

[83] Nokia deploys Australia's first integrated 5G antenna with Optus. URL: https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2021/05/31/nokia-deploys-australias-first-integrated-5g-antenna-with-optus/

число станций с крайне высокими частотами утроилось и достигло более 8 тыс. ед.[84]

В Китае существуют планы по развитию сетей 5G на миллиметровых волнах, но фактических случаев внедрения пока нет. Три крупнейшие телекоммуникационные компании Китая, China Mobile, China Unicom, China Telecom, занимаются совместной разработкой пилотных сетей на частоте 26 ГГц с планами на полноценный запуск сетей 5G на миллиметровых волнах к старту зимних Олимпийских игр 2022 года[85].

В европейских странах задача развития сетей 5G на миллиметровых волнах не является приоритетной в настоящее время, т.к. ресурсы телекоммуникационных компаний сконцентрированы на развитии сетей на частоте 3,5 ГГц. В России также разработка сетей 5G на миллиметровых волнах не является первоочередной задачей, т.к. работа сетей на низкочастотных и среднечастотных волнах находится на ранней стадии развития.

Рост популярности частных сетей.

Частные сети, такие как частные сети 5G (Private 5G) и 4G (Private 4G). все более распространены в мире. Технологии частных сетей позволяют обеспечить высокую степень контроля заказчика над параметрами подключений. Кастомизации поддаются такие характеристики, как время задержки, охват сети, безопасности сети, скорость передачи данных.

---

[84] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

[85] GSMA Thrive: China Sets Its Eye On Millimeter Wave 5G. URL: https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/gsma-thrive-china-sets-its-eye-on-millimeter-wave-5g

По данным за 2021 год[86], было анонсировано 150 частный LTE сетей в Северной Америке, Европе и АТР. Заказчиками сетей являются предприятия сельского хозяйства, обрабатывающего производства, горнодобывающей промышленности.

В дальнейшем распространение частных сетей будет продолжаться, т.к. главный барьер внедрения этой технологии, высокая стоимость реализации, будет частично нивелироваться. При объединении общедоступных сетей с инфраструктурой предприятий частные сети становятся более доступными в аспекте инвестирования в инфраструктуру сетей. В то же время запуск частных 5G сетей создаст новые возможности для компаний, что повысит перспективы окупаемости частных сетей.

Рассматривая примеры запуск частных сетей, можно отметить запуск частной 5G сети AT&T. Данная сеть используется компаниями в сфере здравоохранения. Vodafone и Lufthansa Technik запустили частную 5G сеть на базе Lufthansa площадью 8,5 тыс. кв. м. в аэропорту Гамбурга (Германия). Ford Motor Company использует частную LTE сеть, разработанную Vodafone UK, для повышения качества производства электромобилей в Великобритании.

Рост спроса на более надежные общественные сети.

Спрос на доступ к высокоскоростному Интернету формирует новые требования в общественным сетям. Наблюдается рост числа устройств с поддержкой Wi-Fi за счет распространения смартфонов и повышения технологического уровня других мобильных устройств. Рост числа устройств стимулирует развитие общественных сетей – в частности, такие сети начинают появляться на дорогах, в общественном транспорте. Развитие технологий автономного вождения также стимулирует развитие общественных сетей на основе технологии Wi-Fi и других WLAN технологий.

---

[86] GSA catalogues over 150 deployments of Private LTE and 5G networks and spectrum worldwide. URL: https://www.totaltele.com/507561/GSA-catalogues-over-150-deployments-of-Private-LTE-and-5G-networks-and-spectrum-worldwide

Рост роли Северной Америки в сегментах WWAN и WLAN технологий.

Среди основных регионов мира именно Северная Америка показывает лидирующие позиции по развитию технологий связи нового поколения. Как показал проведенный анализ, Северная Америка лидирует по развитию сетей 5G, опережающими темпами развивает WLAN сегмент.

Северная Америка имеет определенные преимущества перед другими регионами:

1. высокая обеспеченность населения смартфонами;
2. стабильный спрос со стороны корпораций;
3. развитый венчурный рынок;
4. развитый телекоммуникационный рынок;
5. наличие высококвалифицированных специалистов в области технологий связи.

Телекоммуникационные корпорации США имеют ресурсы, достаточные для внедрения сетей 5G. Крупнейшие телекоммуникационные корпорации AT&T, Verizon и T-Mobile заключили контракты на общую сумму более чем 10 млрд. долл. с поставщиками сетевого оборудования, такими как Ericsson, Samsung, Nokia, Huawei и ZTE, для совместного развития инфраструктуры 5G.

Спрос на технологии связи нового поколения в США и Канаде также поддерживается тенденцией использования персональных устройств в рабочих целях, которая будет рассмотрена далее.

Распространение элементов концепции Bring Your Own Device на практике.

Качественное покрытие связью внутри офиса играет приоритетную роль в рамках технологии использования персональных устройств в рабочих целях. В данных условиях растет запрос на поставщиков связи на основе WLAN технологий. Так, специалисты отмечают рост спроса на устройства Wi-Fi 5 и

относительно более медленное внедрение Wi-Fi 6[87], связанное с краткосрочным дефицитом предложения со стороны поставщиков.

Рост спроса на Bluetooth с низким энергопотреблением.

Среди технологий сегмента WPAN и WBAN наиболее актуальной технологией является Bluetooth с низким энергопотреблением (англ. Bluetooth Low Energy).

Согласно оценкам экспертов[88], Bluetooth с низким энергопотребление будет самым быстрорастущим сегментом глобального рынка чипсетов Bluetooth на протяжении 2022-2030 гг. Данная технология имеет широкий спектр применения и активно используется уже на текущем этапе. В числе преимущества технологии можно выделить простоту реализации, высокий уровень безопасности и низкое энергопотребление. Несмотря на то, что пропускная способность составляет только 0,27 Мб/с, потребляемая мощность колеблется от 0,01 Вт до 0,5 Вт, что более чем в 2 раза ниже обычного Bluetooth.

Чипсеты Bluetooth имеют высокий потенциал роста в среднесрочной перспективе в связи с ростом числа пользователей смартфонов, планшетов и настольных компьютеров по всему миру, особенно в странах АТР. Поэтому тренд на Bluetooth с низким энергопотреблением сохранится в перспективе 2021-2026 гг.

Рост роли стран АТР в сегменте WPAN технологий.

Несмотря на то, что страны АТР уступают Северной Америке в развитии WWAN технологий (в частности, сетей 5G), данный регион является лидирующим в сегменте WPAN технологий. Наибольшие темпы роста рынка

---

[87] Mordor Intelligence. 5G Infrastructure Market Analysis. URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/5g-infrastructure-market

[88] Transparency Market Research. Bluetooth Chipset Market Analysis. URL: https://www.transparencymarketresearch.com/bluetooth-chipsets-market.html

чипсетов Bluetooth наблюдаются именно для стран АТР[89], что связано со следующими факторами:

1. АТР является крупнейшим центром сбыта бытовой электроники;
2. рост числа центров обработки данных;
3. внедрение технологий Интернета вещей в обрабатывающей промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях;
4. высокая ценовая конкурентоспособность азиатских производителей чипсетов Bluetooth (особенно в Китае и Южной Корее);
5. большое число крупных компаний-производителей бытовой электроники.

Следовательно, рынок стран АТР рассматривается как потенциальный лидер в сегменте WPAN технологий в перспективе 2021-2026 гг.

Запуск сетей, согласующихся с концепцией устойчивого развития.

Движение отраслей в сторону «зеленого» роста является общим трендом в глобальной экономике, который также является актуальным и для рынка нового поколения технологий связи.

Как было отмечено ранее, потребление мобильного трафика напрямую связано с развитием технологий связи нового поколения. Задача компаний, реализующих решения в области технологий связи на основе принципов устойчивого развития, заключается в том, чтобы обеспечить рост потребления мобильного трафика при недопущении линейного роста энергопотребления сетей.

Следовательно, энергоэффективность является важнейшей характеристикой технологии наряду с производительностью сети. Для повышения энергоэффективности могут применяться различные методы. В частности, обновление основного и вспомогательного оборудования на

[89] Transparency Market Research. Bluetooth Chipset Market Analysis. URL: https://www.transparencymarketresearch.com/bluetooth-chipsets-market.html

станции. Данная задача является особо актуальной для России, где запуск сетей 5G планируется реализовать на основе инфраструктуры LTE сетей. Может также применяться внедрение интеллектуальных сетей (англ. Intelligent Network), которые позволяют отключать определенные физические компоненты в зависимости от требований пользователей и сценариев работы сети.

В частности, концепцию устойчивого развития внедряет Huawei при реализации сетей 5G в Китае[90]. Другим примером является компания Ericsson, которая внедряет «зеленые» решения при развертывании сетей 5G в нескольких странах мира, включая Швецию[91].

Важно отдельно рассмотреть влияние пандемии COVID-19 на выручку телекоммуникационных компаний в качестве среднесрочного тренда.

Далее будет рассмотрен драйвер роста мировой экономики и, в частности, выручки мобильных операторов после негативных последствий пандемии COVID-19.

Согласно прогнозам Международного валютного фонда (МВФ), мировая экономика выйдет на устойчивые темпы роста после 2021 года (рисунок ниже).

[90] Huawei. Green 5G Building a Sustainable World. URL: https://www.huawei.com/en/public-policy/green-5g-building-a-sustainable-world

[91] Ericsson. Enhancing Rural Connectivity Through Green Energy Solutions. URL: https://www.ericsson.com/en/blog/2020/10/enhancing-rural-connectivity-through-green-energy-solutions

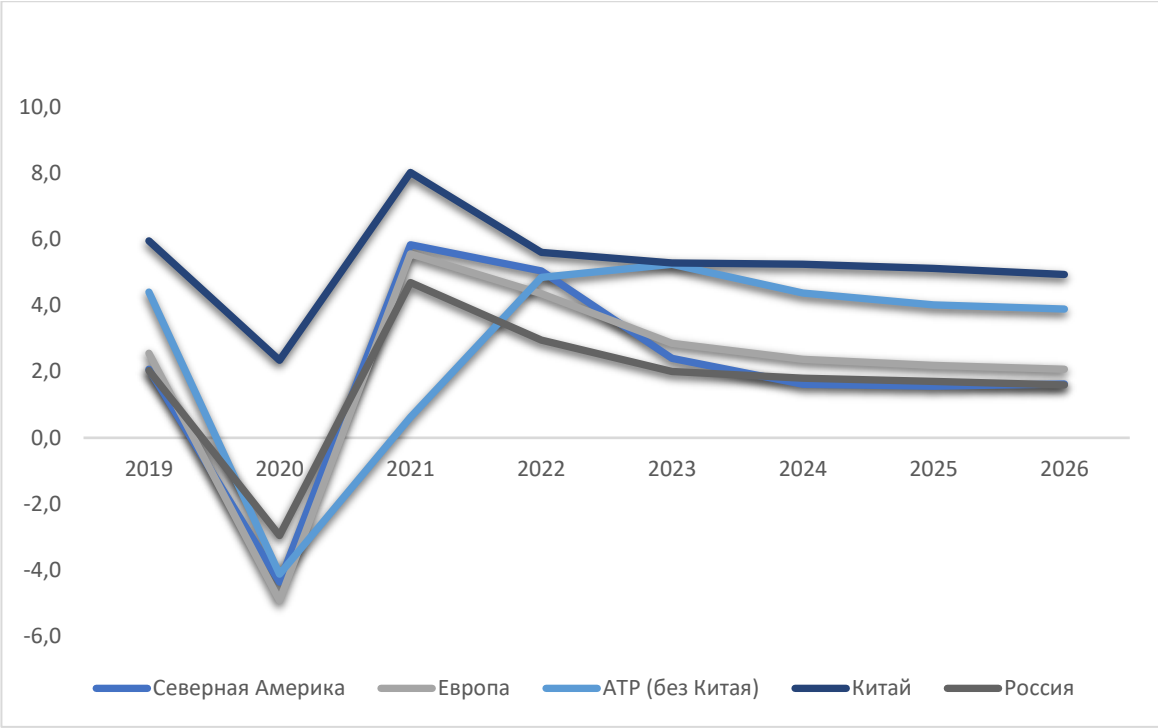


Рисунок 2.23. Годовые темпы роста ВВП различных стран в 2019-2026 гг., %

Источник: IMF[92]

Таким образом, последствия пандемии COVID-19 носят среднесрочный характер. В дальнейшем экономики перейдут на относительно стабильные темпы роста, что является положительным драйвером для развития рынка нового поколения технологий связи. Для Китая долгосрочные темпы роста экономики составят 5,1%, АТР (без Китая) 4%, Европы 2,2%, России и Северной Америки 1,7%.

Для мобильных операторов прогнозируется стабильный рост выручки на протяжении 2022-2025 гг. (рисунок ниже).

[92] IMF Statistics. URL: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/10/12/world-economic-outlook-october-2021

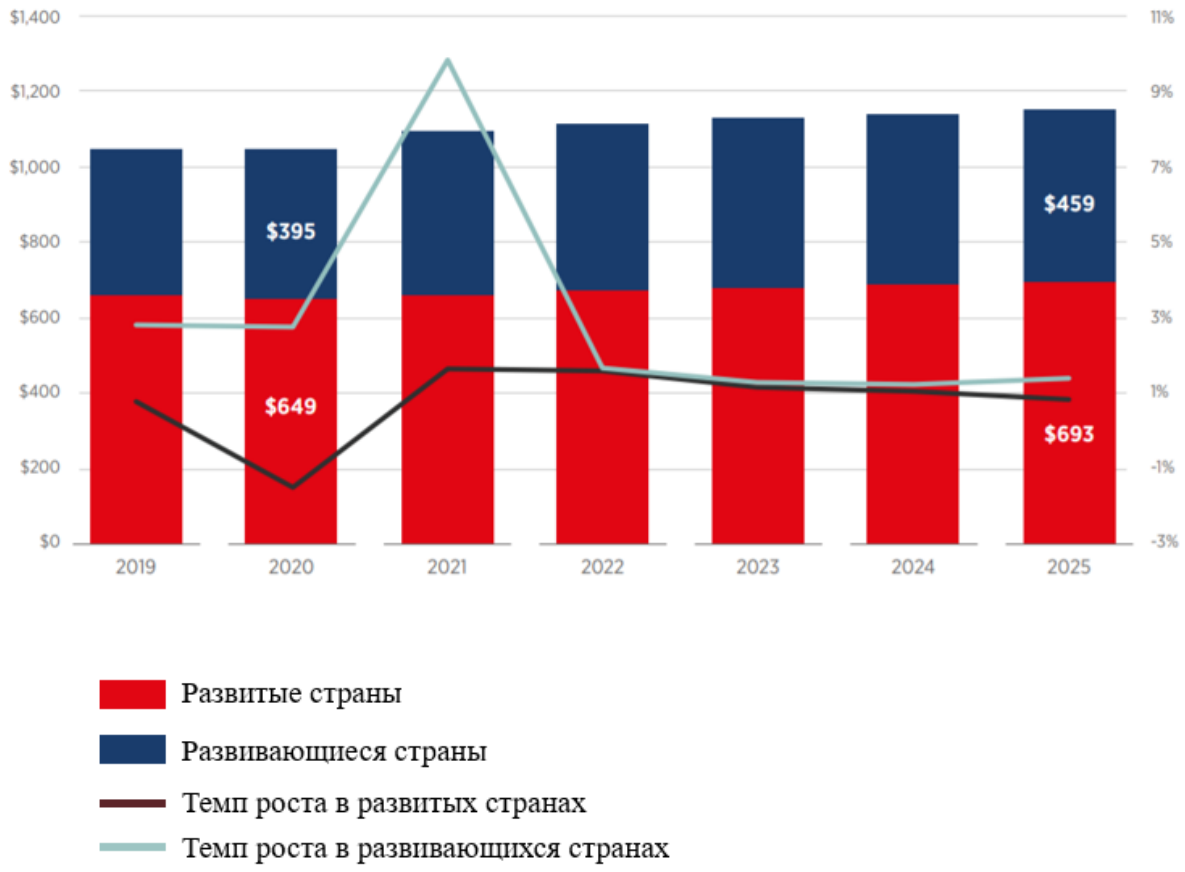


Рисунок 2.24. Выручка операторов мобильной связи в развитых и развивающихся странах, млрд. долл.

Источник: GSMA[93]

Пандемия COVID-19 оказала негативное краткосрочное воздействие на выручки мобильных операторов в 2020 году (сокращение выручки на 1,4% для развитых стран, для развивающихся стран наблюдались положительные темпы роста в 2,9%). После компенсационного роста в 2021 году (рост выручки на 1,2% в 2021 году для развитых стран и рост выручки на 9,7% для развивающихся стран) темп роста выручки стабилизируется в среднем на уровне 1% в год для развитых и развивающихся стран.

[93] GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf

2.5 Оценка спроса на продукцию рынка нового поколения технологий связи и влияющих на него факторов

Общий спрос на продукцию рынка нового поколения технологий связи связан со спросом корпоративного сегмента и частного сегмента. Как было отмечено в п. 2.2, драйверами рынка нового поколения технологий связи являются, как решения для компаний, так и потребительские решения.

Рассматривая мир в целом, можно составить список наиболее перспективных отраслей, которые будут формировать спрос на технологии связи нового поколения.

Так, наибольшее прогнозируемое число проектов применения технологии сетей нового поколения к 2030 году имеет Индустрия 4.0 (рисунок ниже).

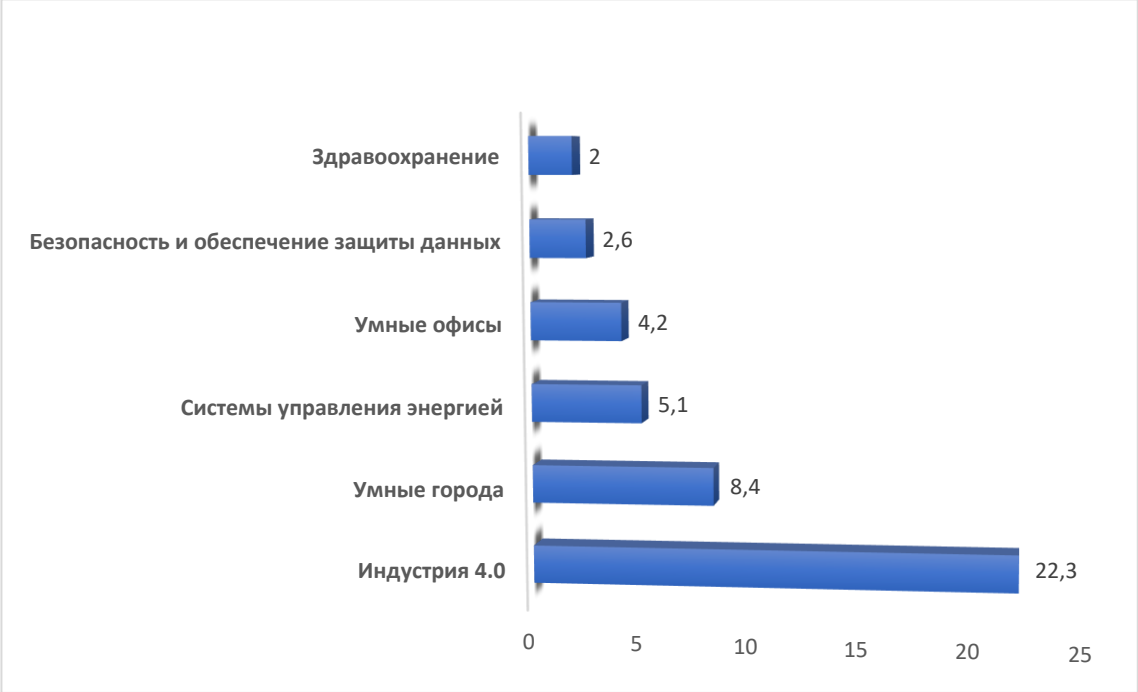


Рисунок 2.28. Прогнозируемое число проектов применения технологии сетей нового поколения для различных сегментов к 2030 году, млн. ед.

Источник: McKinsey[94]

[94] McKinsey. The 5G era. New horizons for advanced electronics and industrial companies. URL: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/the%2

Прогнозируется, что к 2030 году будет запущено 22,3 млн. проектов применения технологии сетей 5G.

Умные города также является ключевой сферой, в которой формируется спрос на сети 5G (8,4 млн. проектов к 2030 году). Важно также отметить системы управления энергией (5,1 млн. проектов) и умные офисы (4,2 млн. проектов).

Таким образом, спрос на продукцию рынка нового поколения технологий связи в корпоративном сегменте можно оценить в 44,6 млн. проектов на протяжении 2020-2030 гг.

Перейдем к анализу сегмента частных потребителей. Рост выручки компаний данного сегмента обеспечивается масштабным распространением пользовательских устройств, в том числе «умных» устройств бытовой электроники.

Общий размер глобального рынка умных устройств оценивается в 104,4 млрд. долл. в 2021 году, при этом прогноз к 2025 году составляет 187,4 млрд. долл.[95]

Наибольшую динамику спроса здесь формируют развитые регионы, в частности передовые европейские страны, США и Китай. Так, в США 35% домохозяйств пользуются Смарт ТВ, 27% владеют умными колонками (рисунок ниже).

05g%20era%20new%20horizons%20for%20advanced%20electronics%20and%20industrial%20companies/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies.pdf

[95] Statista. Smart Devices Revenue. URL: https://www.statista.com/outlook/dmo/smart-home/worldwide#revenue

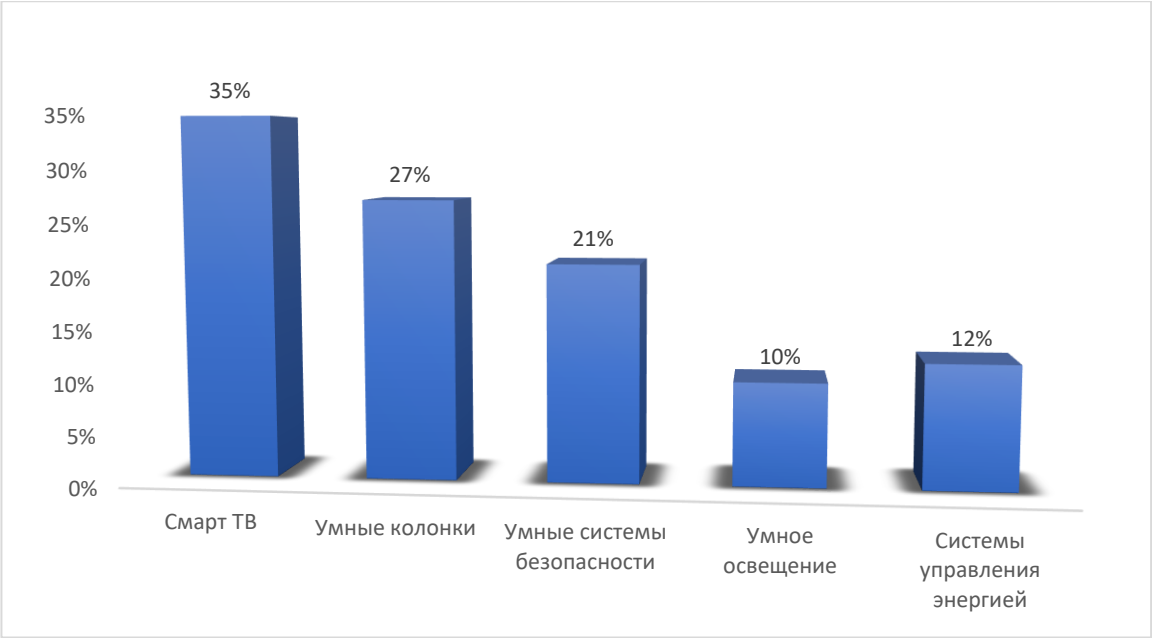


Рисунок 2.29. Доля домохозяйств, владеющих каким-либо умных устройством, в США в 2020 году
Источник: GSMA[96]

Для Европы уровень проникновения умных устройств находится на более низком уровне (рисунок ниже).

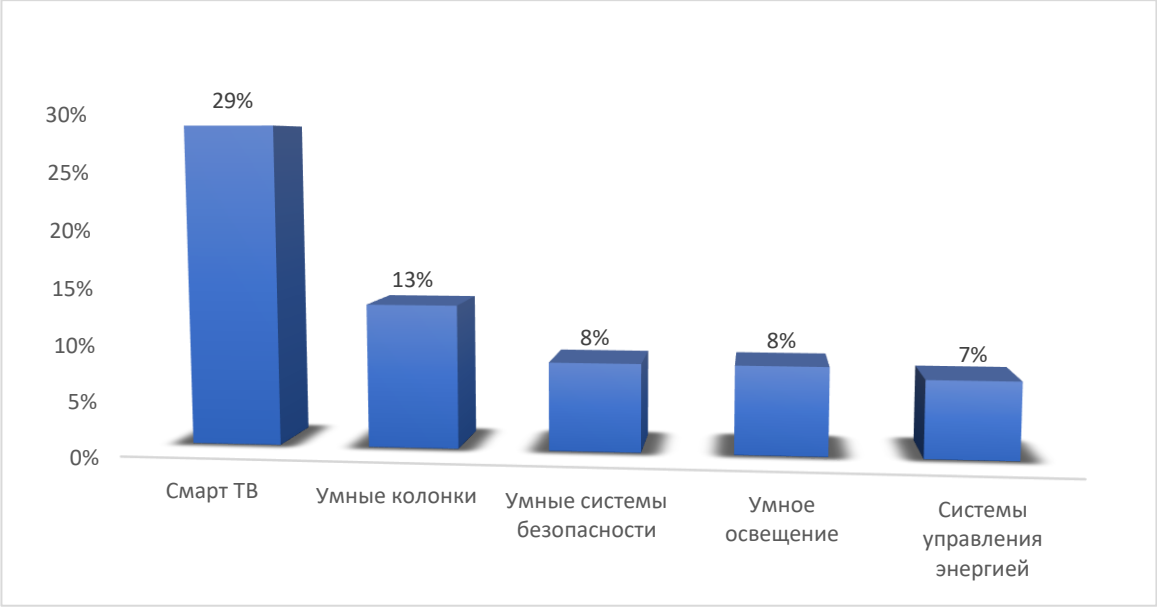


Рисунок 2.30. Доля домохозяйств, владеющих каким-либо умных устройством, в Европе в 2020 году. Источник: GSMA[97]

[96] GSMA. Mobile Economy Report 2020. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf

[97] GSMA. Mobile Economy Report 2020. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf

Достаточно высокую роль умные устройства играют в Китае: 58% домохозяйств имеют Смарт ТВ, 36% использую умные системы безопасности (рисунок ниже).

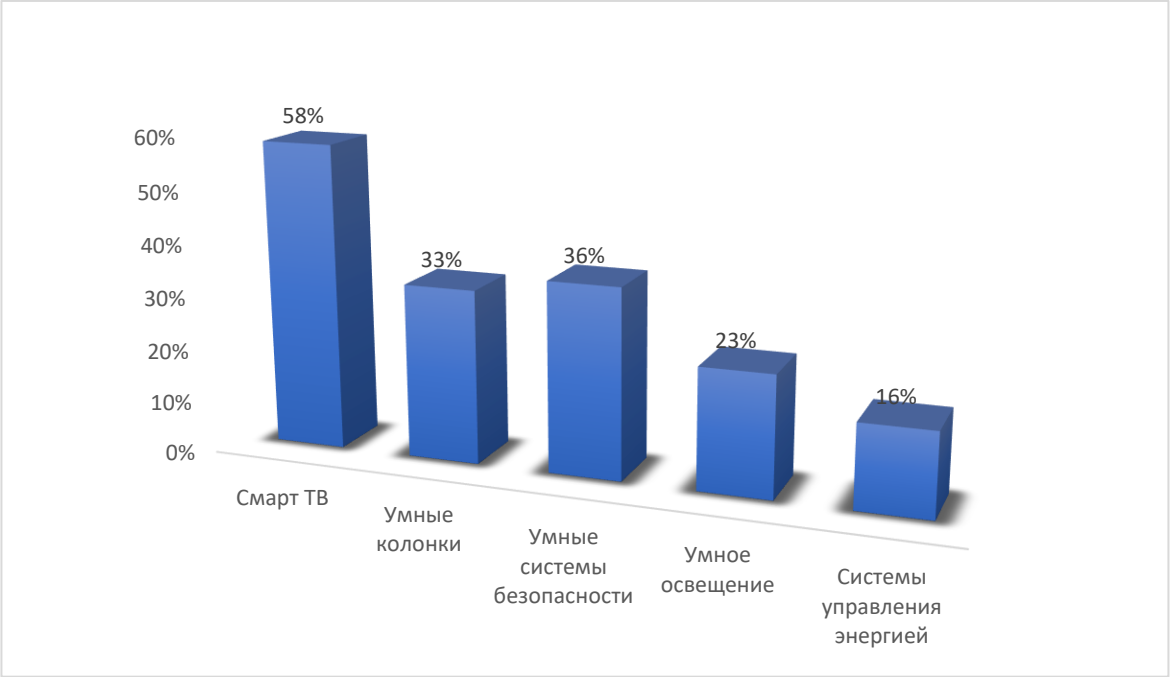


Рисунок 2.31. Доля домохозяйств, владеющих каким-либо умных устройством, в Китае в 2020 году

Источник: GSMA[98]

Далее будут рассмотрены ключевые факторы, которые влияют на спрос на продукцию рынка нового поколения технологий связи.

В соответствие с методологией GSMA, все факторы развития рынка технологий нового поколения связи разделены на 3 группы:

1. уровень развития инфраструктуры. Данный показатель включает общее число инфраструктурных объектов и технологий, доступных в стране и используемых для обеспечения работы беспроводных сетей;

[98] GSMA. Mobile Economy Report 2020. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf

2. готовность потребителей. Данный индикатор отражает наличие спроса со стороны физических и юридических лиц на услуги беспроводных связи;
3. мобильные услуги и контент. В данный показатель входит общий объем доступных услуг и контента, которые может использовать потребителями. Чем выше данный показатель, тем больше потенциальный спрос на продукцию рынка технологий связи нового поколения.

Далее будет рассмотрен индекс сетевого взаимодействия, публикуемый GSMA, для трех ключевых регионов: Северная Америка, Европа и Азия.

Индекс сетевого взаимодействия для Северной Америки показывает, что наиболее развитые сферы – это мобильные услуги и цифровой медиа-контент. Значения индекса для США и Канады составляли 93,3 и 90,3 соответственно (рисунок ниже).

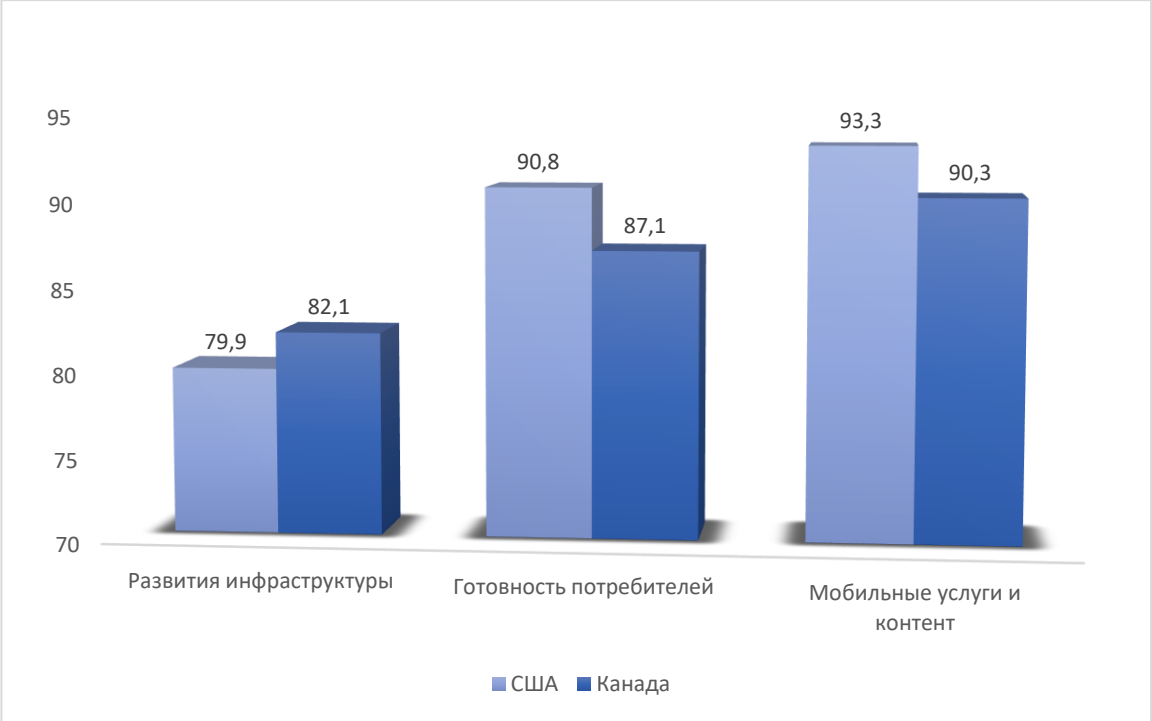


Рисунок 2.32. Индекс сетевого взаимодействия для США и Канады

Источник: Mobile Connectivity Index[99]

[99] Mobile Connectivity Index. URL: https://www.mobileconnectivityindex.com

Развитие инфраструктуры оценивается относительно низко по сравнению с другими факторами (79,9 для США и 82,1 для Канады). Готовность потребителей оценивается на высоком уровне (90,8 для США и 87,1 для Канады).

Значения индекс сетевого взаимодействия для лидирующих стран Европы (Франция, Германия, Италия, Испания) представлены на рисунке ниже.

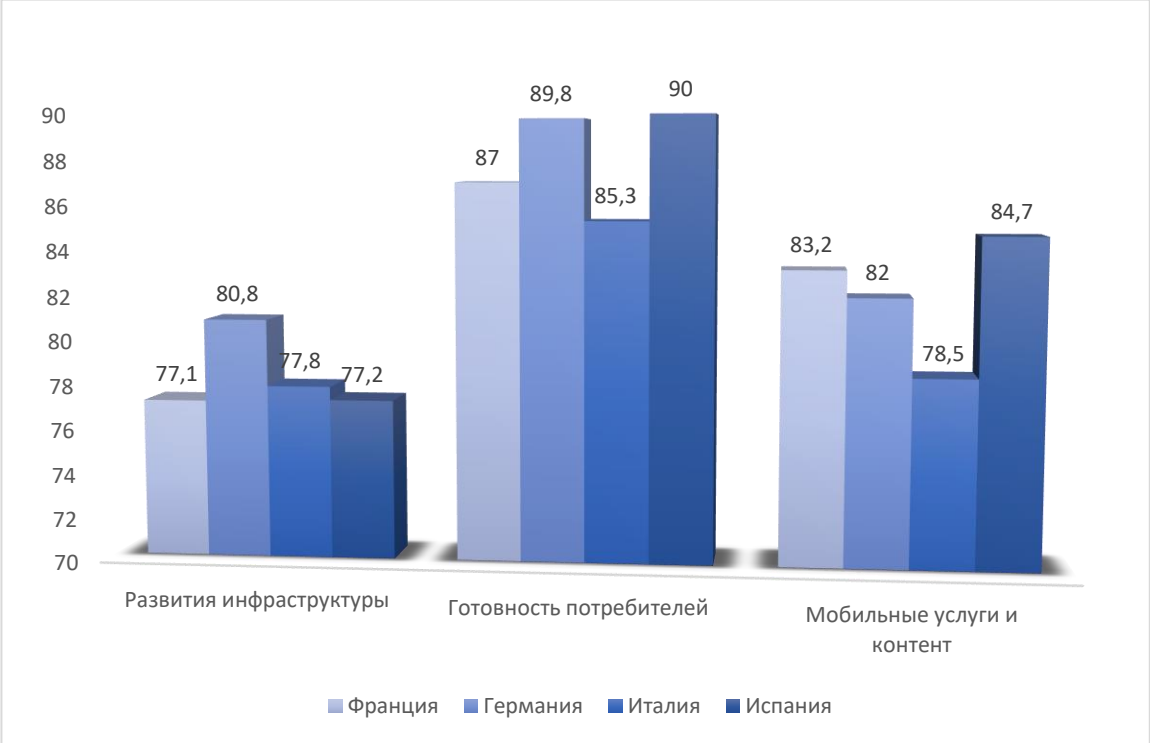


Рисунок 2.33. Индекс сетевого взаимодействия для Франции, Германии, Италии и Испании

Источник: Mobile Connectivity Index[100]

Для европейских стран также характерно недостаточное развитие инфраструктуры для технологий связи нового поколения. Страной-лидером в регионе является Германия (индекс развития инфраструктуры 80,8).

[100] Mobile Connectivity Index. URL: https://www.mobileconnectivityindex.com

Наиболее развитой областью в Европе является готовность потребителей. Для всех стран значение индекса превышает 85,3 (страной-лидером является Испания, индекс готовности потребителей составляет 90 ед.).

Динамика индексов для России представлена на рисунке ниже.

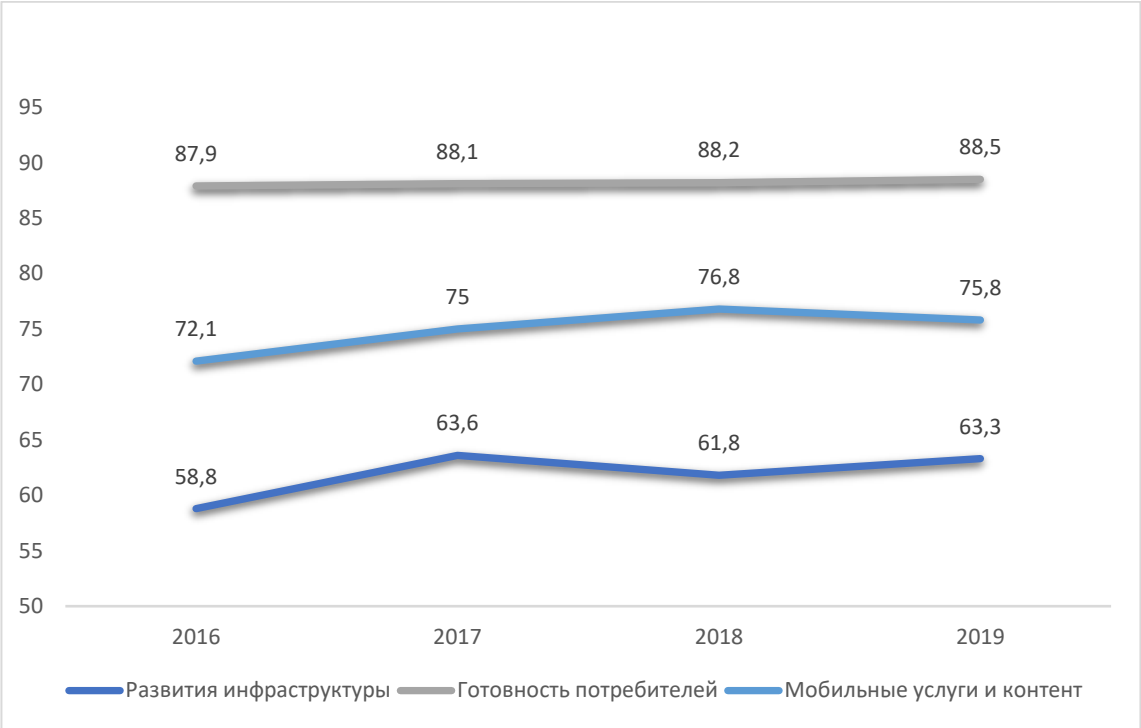


Рисунок 2.34. Индекс сетевого взаимодействия для России в 2016-2019 гг.

Источник: Mobile Connectivity Index[101]

Можно сделать следующие выводы:

1. развитие инфраструктуры находится на низком уровне в России. Значение индекса развития инфраструктуры составляло 63,3 в 2019 г., при этом за 2017-2019 гг. нет положительной динамики;
2. развитие мобильных услуг и цифрового медиа-контента находится также на относительно низком уровне по сравнению с другими регионами мира;

[101] Mobile Connectivity Index. URL: https://www.mobileconnectivityindex.com

3. готовность потребителей оценивается на очень высоком уровне, что связано с распространенностью смартфонов и большого числа абонентов мобильного Интернета.

На рисунке ниже представлены значения индекса для стран Азии.

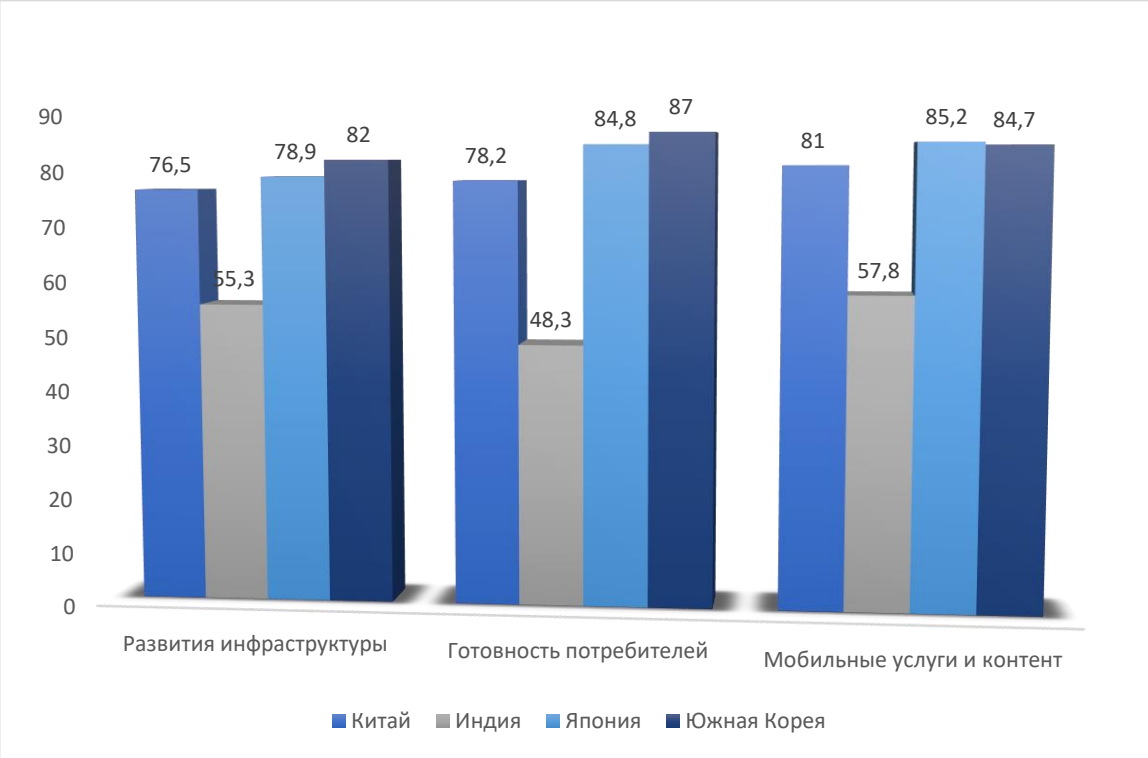


Рисунок 2.35. Индекс сетевого взаимодействия для Китая, Индии, Японии и Южной Кореи

Источник: Mobile Connectivity Index[102]

Страной-лидером по развитию инфраструктуры и готовности потребителей является Южная Корея. Наименьший уровень развития характерен для Индии по всем ключевым областям.

В целом, развитие инфраструктуры во всех рассматриваемых регионах находится на сопоставим уровне.

Также важно рассмотреть такой фактор, как стоимость доступа к мобильному широкополосному Интернету. Спрос на продукцию рынка нового

[102] Mobile Connectivity Index. URL: https://www.mobileconnectivityindex.com

поколения технологий связи напрямую зависит от стоимости услуг данного рынка.

Стоимость доступа к мобильному широкополосному Интернету в мире в 2019 году представлена на рисунке ниже.

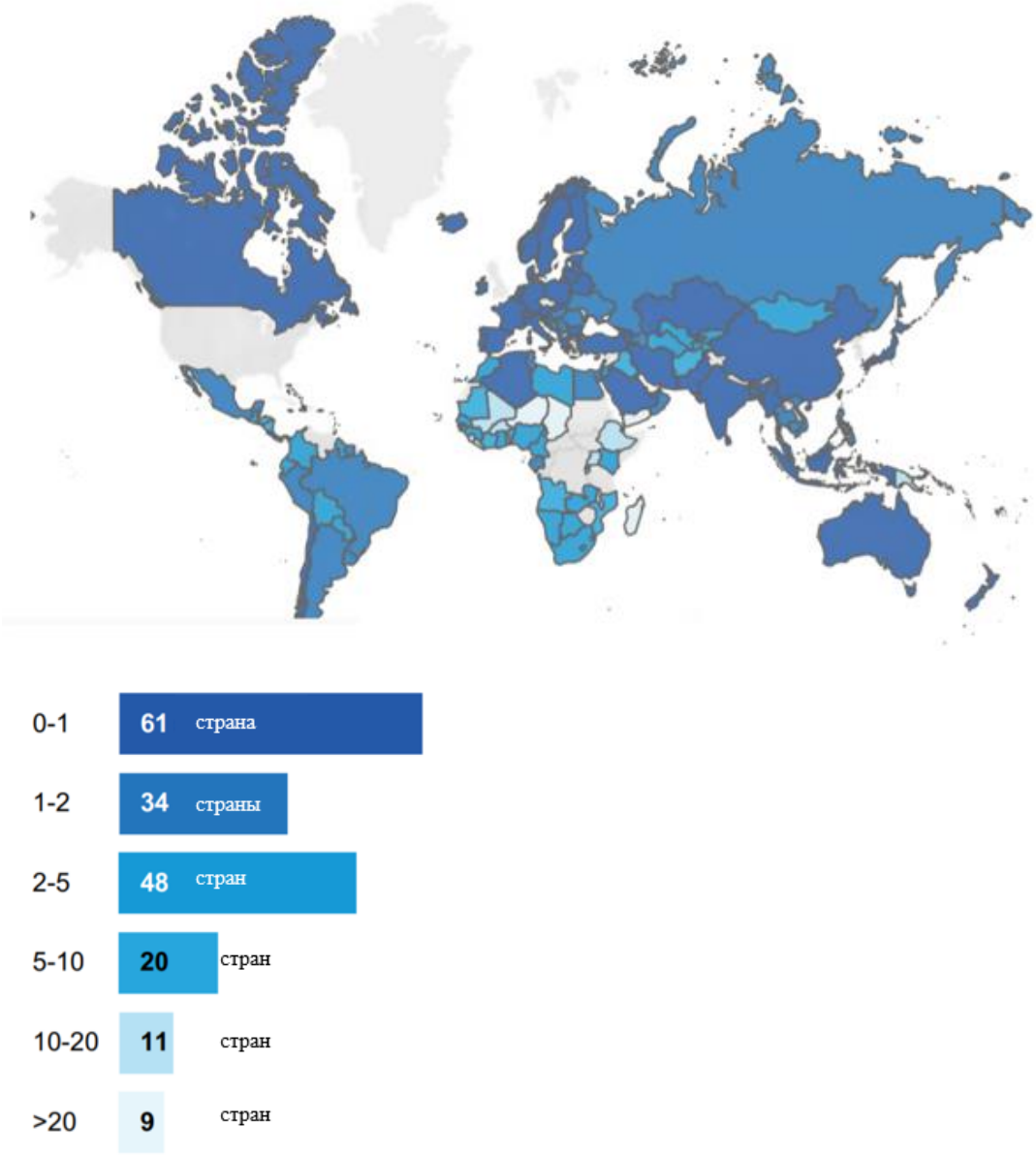


Рисунок 2.36. Стоимость доступа к мобильному широкополосному Интернету в мире в 2019 году, % от месячного внутреннего располагаемого дохода (ВРД)

Источник: ITU [103]

[103] ITU statistics. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf

Можно сделать вывод, что большинство стран имеют достаточно низкую стоимость доступа (до 2% от месячного ВРД). Но ряд стран, включая некоторые страны СНГ, имеют достаточно высокую стоимость доступа (более 5% от месячного ВРД).

В то же время конечные цены трафика сотовых сетей имеют тенденцию к сокращению. Так, для США цена 1 Гб трафика сотовых сетей снизилась с 4,64 долл. в 2018 году до 3,39 долл. в 2021 году (рисунок ниже).

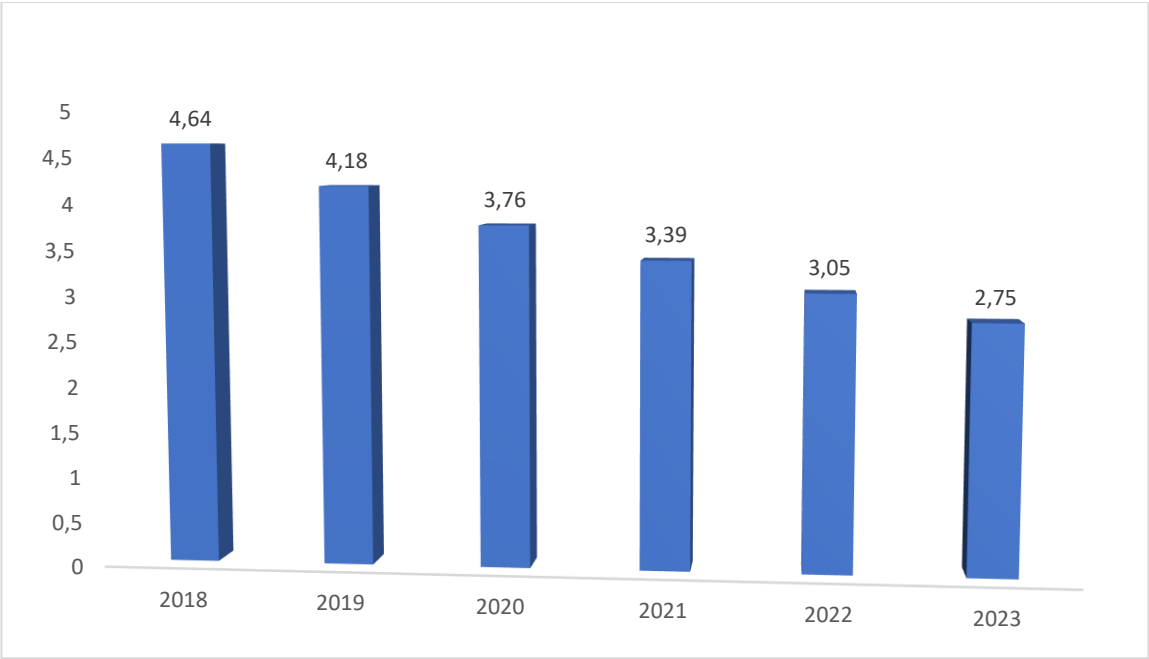


Рисунок 1. Цена 1 Гб трафика сотовых сетей в США в 2018-2023 гг.

Источник: Statista[104]

Барьеры для внедрения новых технологических решений в сфере связи напрямую ограничивают спрос на продукцию рынка нового поколения технологий связи.

[104] Statista. Estimated average price of cellular data per gigabyte in the United States from 2018 to 2023. URL: https://www.statista.com/statistics/994913/average-cellular-data-price-per-gigabyte-in-the-us/

Два крупнейших сегмента спроса – решения Интернета вещей и умные устройства – испытывают вызовы со стороны технологических, операционных, квалификационных трудностей.

Согласно исследованию GSMA, 53% компаний, которые занимались внедрением решений Интернета вещей, сталкивались с проблемой интеграции новой технологии с текущими технологиями в 2020 году (рисунок ниже). При этом в 2019 году доля таких компаний составляла 47%.

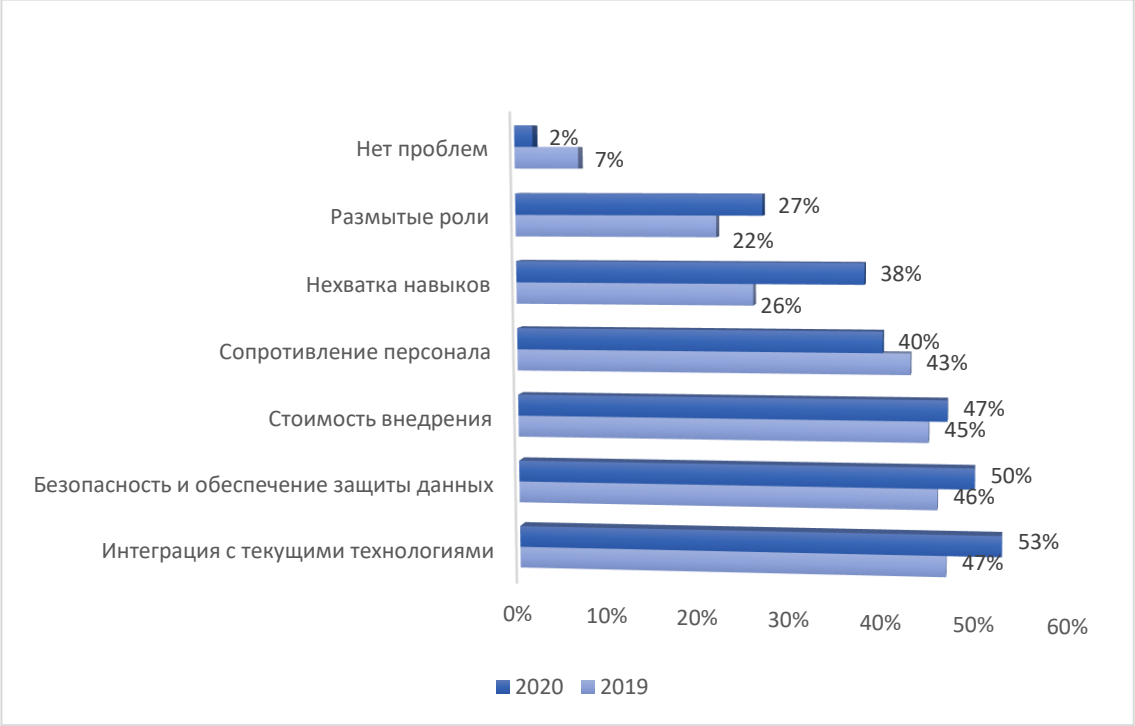


Рисунок 2.37. Распределение ответов на вопрос «С какими из этих проблем Ваша организация сталкивалась при внедрении решений Интернета вещей?» за 2019-2020 гг., %

Источник: GSMA[105]

Другие важные трудности – это обеспечение информационной безопасности (50% респондентов) и высокая стоимость внедрения (47%

[105] GSMA. Mobile Economy Report 2020. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf

респондентов). Важно отметить, что актуально обоих проблем выросла за 2019-2020 гг., согласно результатам исследования.

Исследование B2C сегмента на примере рынка умных аудио-устройств также показывает важную роль адаптивности новых технологий к текущему положению (рисунок ниже).

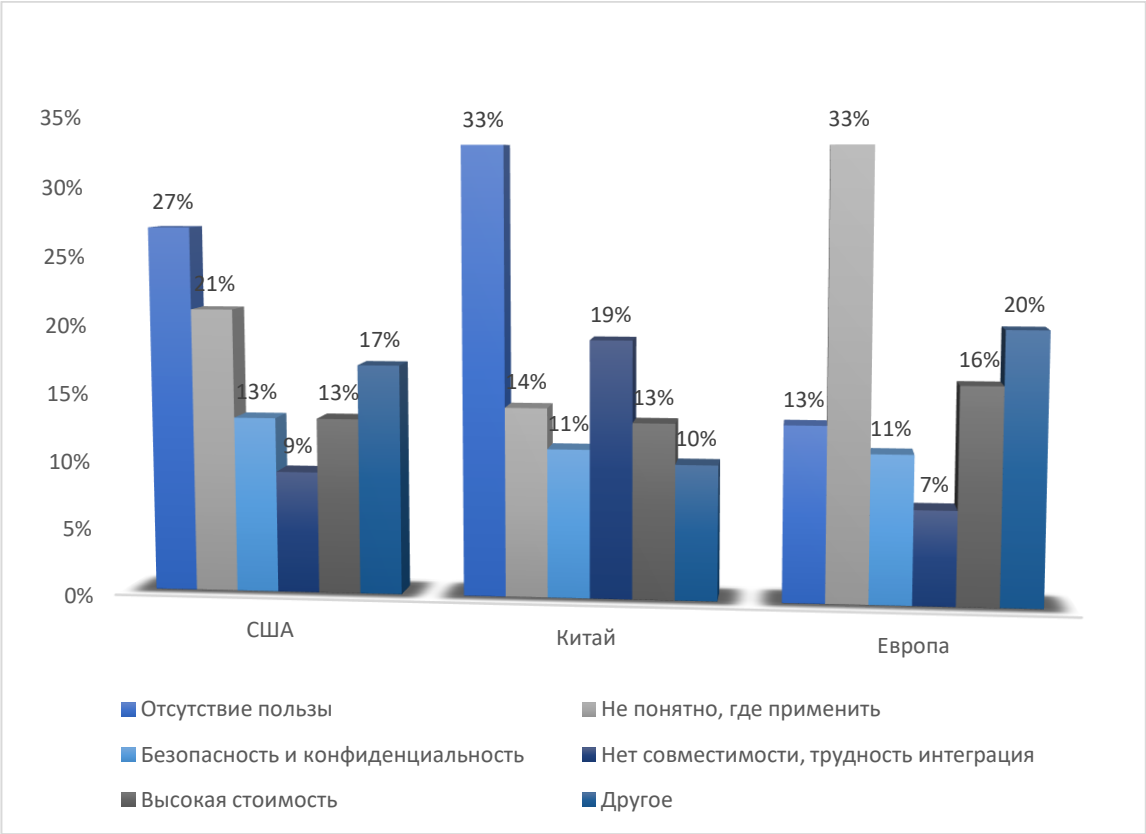


Рисунок 2.38. Распределение ответов на вопрос «По какой причине Вы не владеете умными аудио-устройствами?» за 2020 г., %

Источник: GSMA[106]

Трудность интеграции является главной причиной для 19% респондентов в Китае, но данная проблема менее актуальна в Европе (только 7% респондентов). В то же время для европейских стран отсутствие возможности применения является наиболее важной причиной отказа от

[106] GSMA. Mobile Economy Report 2020. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf

покупки умных аудио-устройств (33% респондентов), что может быть связано с недостаточным уровнем развития существующей бытовой электроники в этих странах в аспекте онлайн-технологий.

Для США и Китая наиболее важной является проблема низкой эффективности данных решений при решении бытовых задач (27% и 33% респондентов соответственно).

2.6 Анализ сделок M&A на рынке

Ситуация на рынке M&A для компаний, развивающих технологии связи нового поколения, во многом определяется влиянием пандемии COVID-19. В условиях снижения темпов экономического роста телекоммуникационные компании стремятся инвестировать в проекты по обновлению и запуску новых сетей, особенно в сети 5G.

Если рассматривать глобальную телекоммуникационную отрасль в целом, то можно сделать вывод, что во второй половине 2020 года наблюдается существенный рост числа сделок M&A (рисунок ниже).

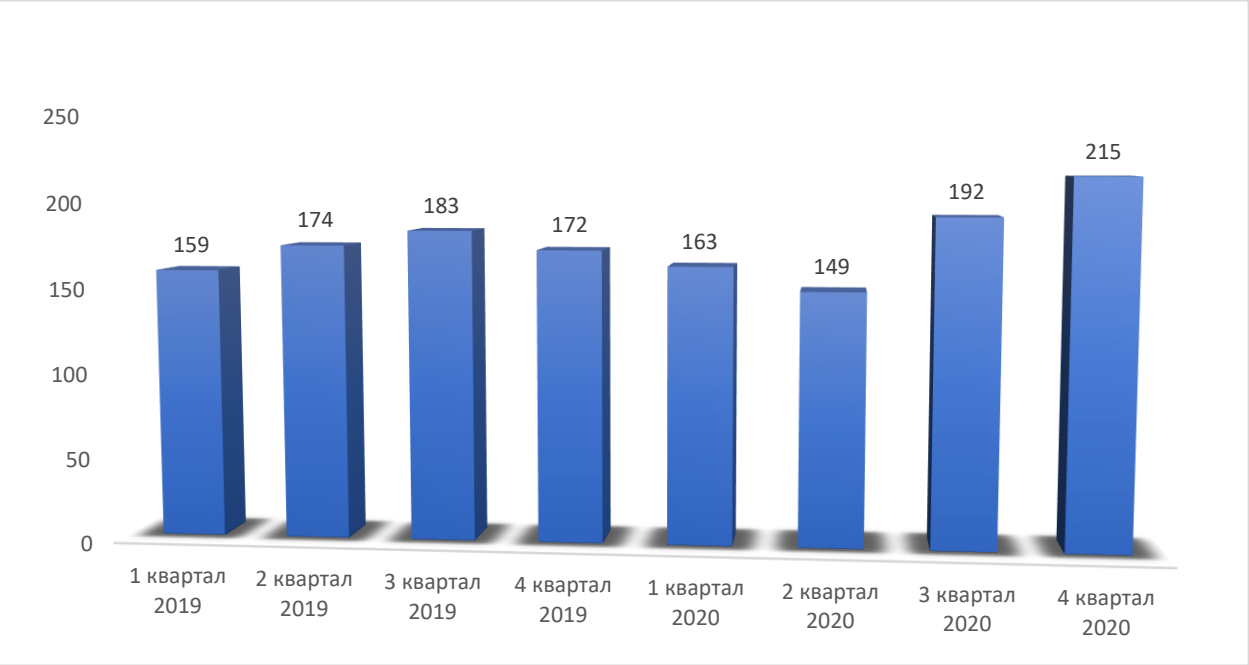


Рисунок 2.39. Число сделок M&A в телекоммуникационной отрасли в 2019-2020 гг. в мире

Источник: PwC[107]

Общий рост числа сделок за 2019-2020 гг. составил 4,5%.

Согласно представленному отчету компанией PwC, Для Северной и Южной Америки наблюдается стабильный уровень числа сделок в 2019-2020 гг. (рисунок ниже).

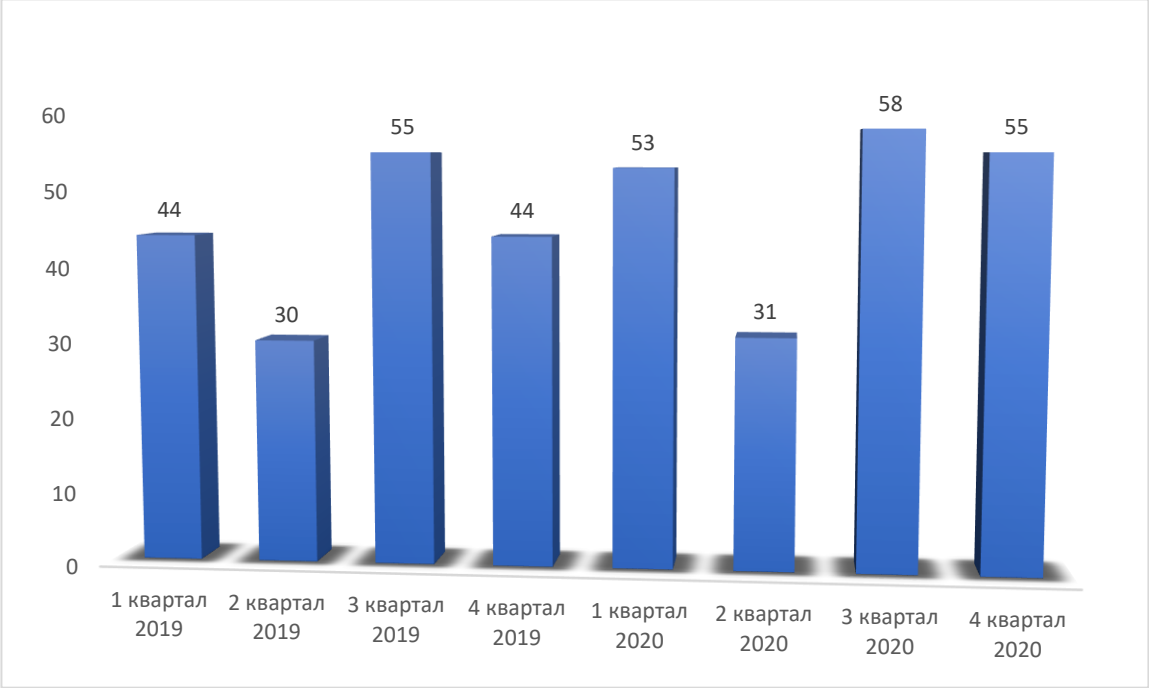


Рисунок 2.40. Динамика числа сделок M&A в телекоммуникационной отрасли в 2019-2020 гг. в Северной и Южной Америке

Источник: PwC[108]

При этом общая стоимость сделок M&A стабильно росла на протяжении 2018-2020 гг. (рисунок ниже).

[107] PwC. M&A Report 20211. URL: https://www.pwc.com/gx/en/services/deals/trends/2021/telecommunications-media-technology.html

[108] PwC. M&A Report 20211. URL: https://www.pwc.com/gx/en/services/deals/trends/2021/telecommunications-media-technology.html

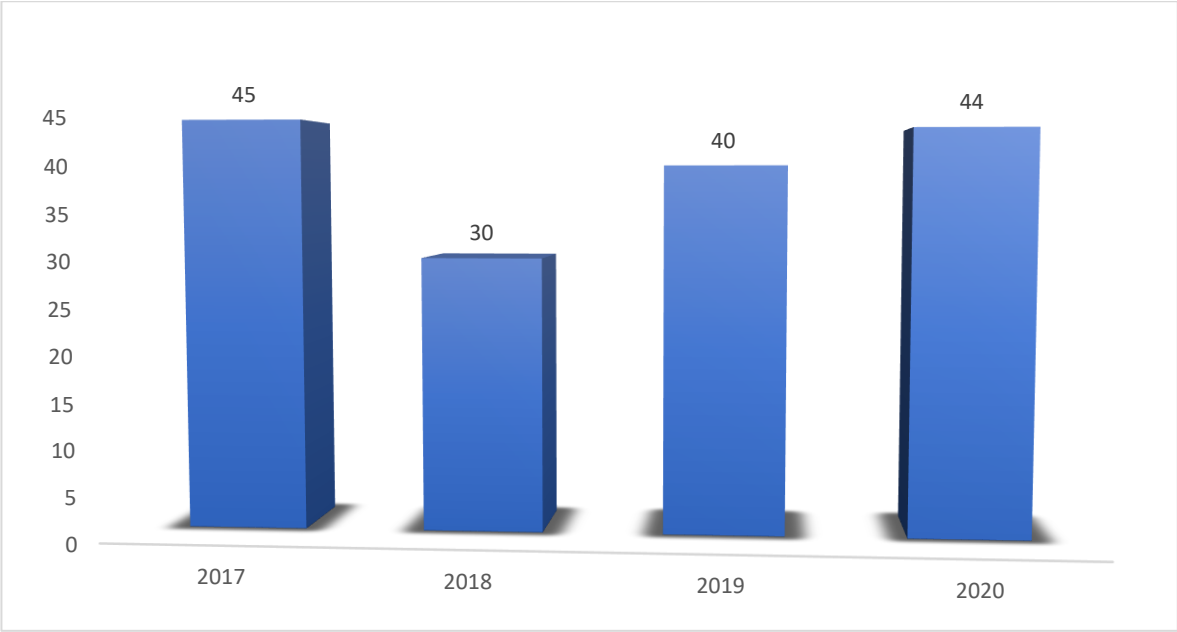


Рисунок 2.41. Совокупная стоимость сделок M&A в Северной и Южной Америке в 2017-2020 гг., млрд. долл.

Источник: Bain[109]

Таким образом, средний размер сделки оценивается в 61 млн. долл. в 2020 году. В 2019 году данный показатель равнялся 58 млн. долл., имеет место рост на 5,2%

В данном регионе крупной сделкой является приобретение крупнейшего оператора сотой связи в США Verizon беспроводного сервиса América Móvil TracFone за 6,9 млрд долларов (2021 год)[110]. Сумма сделки составляет 6,9 млрд. долл.

Европа, Ближний Восток, Африка

В Европе и Ближнем Востоке наблюдается устойчивый рост числа сделок M&A на протяжении всего 2020 года (рисунок ниже).

[109] Bain. Global M&A Report 2021. URL: https://www.bain.com/globalassets/noindex/2021/bain_report_global_m_and_a_report_2021.pdf

[110] Reuters. America Movil ready for 5G in Mexico, expects close of Tracfone sale. URL: https://www.reuters.com/business/media-telecom/america-movil-says-ready-launch-5g-mexico-plans-sell-tracfone-this-year-2021-10-20/

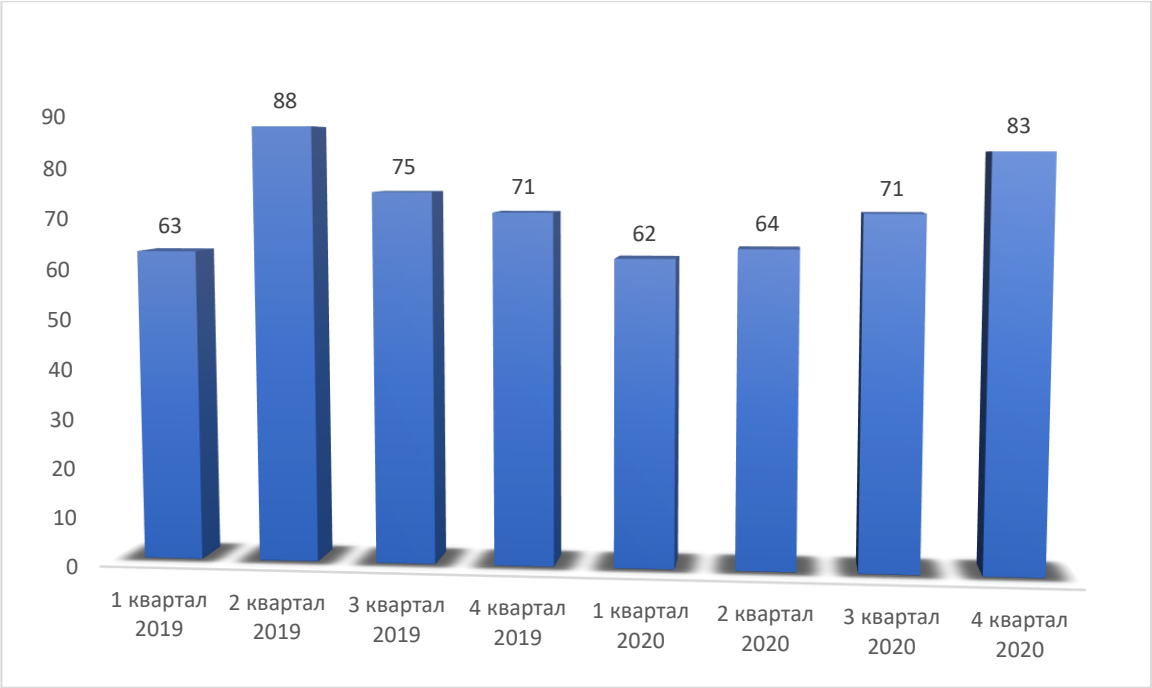
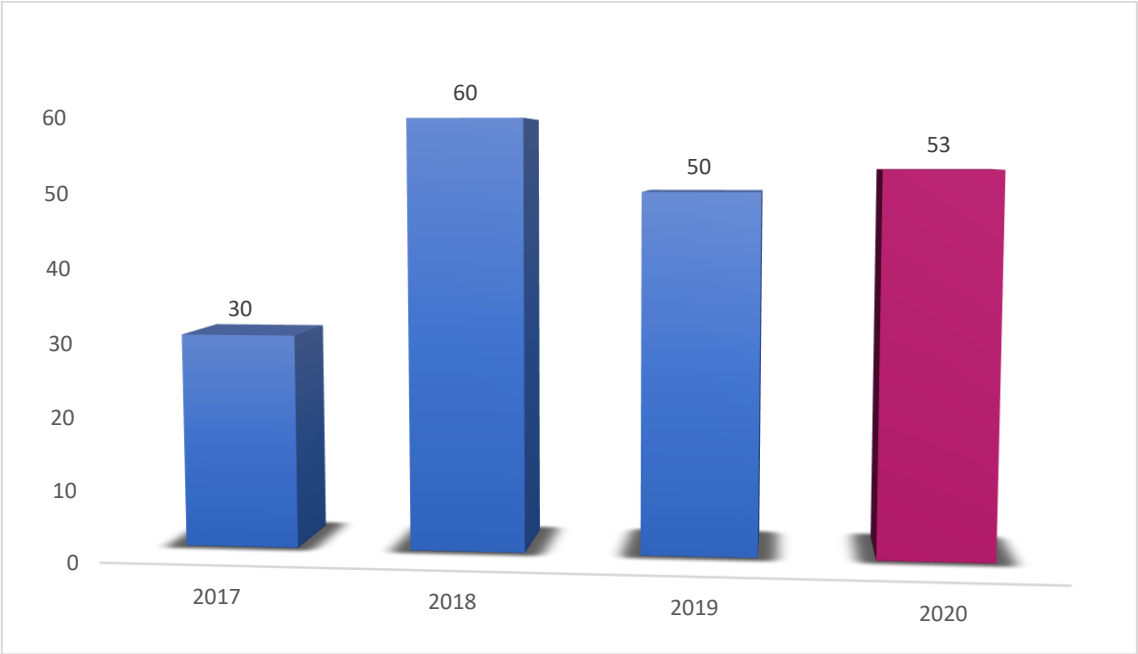


Рисунок 2.42. Динамика числа сделок M&A в телекоммуникационной отрасли в 2019-2020 гг. в Европе и Ближнем Востоке

Источник: PwC[111]

Общая стоимость сделок M&A выросла с 50 до 53 млрд. долл. за 2019-2020 гг. (рисунок ниже).



[111] PwC. M&A Report 20211. URL: https://www.pwc.com/gx/en/services/deals/trends/2021/telecommunications-media-technology.html

Рисунок 2.43. Совокупная стоимость сделок M&A в Европе и Ближнем Востоке в 2017-2020 гг., млрд. долл.

Источник: Bain[112]

Таким образом, средняя стоимость сделки M&A в данных регионах выросла с 168 млн. долл. в 2019 году до 189 млн. долл. в 2020 году.

Одной из крупнейших сделок в Европе является приобретение технологической компании Sunrise Communications транснациональной корпорацией Liberty Global. Общая сумма сделки оценивается в 7,2 млрд. долл. Ресурсы Sunrise Communications будут направлены на обновление инфраструктуры сетей связи в Швейцарии.

Крупная сделка была совершена в Великобритании – телекоммуникационная компания Telefonica O2 UK объединилась с крупной британской телекоммуникационной компанией Virgin Media для создания совместного предприятия. Общий размер инвестиций составил 38,8 млрд. долл.

Среди других сделок важно отметить Orange Group приобретение контрольного пакета акций румынский компании Telekom Romania, принадлежавшего до этого крупнейшей немецкая телекоммуникационная компания Deutsche Telekom.

Кроме того, Европейским судом было отменено решение антимонопольных органов о блокировки сделки между O2 и Three на сумму 13,5 млрд. долл., которая должна было состояться в 2016 году. Следовательно, данные компании смогут объединиться для развития сетей 5G на территории Европейского союза.

Важно отметить, что высокая активность в сфере M&A в Европе сокращает количество компаний, доступных для заключения таких сделок в

[112] Bain. Global M&A Report 2021. URL: https://www.bain.com/globalassets/noindex/2021/bain_report_global_m_and_a_report_2021.pdf

будущем, что снижает потенциальную активность в данном регионе для рынка технологий связи.

В странах АТР также наблюдается активизация рынка M&A в области телекоммуникаций (рисунок ниже).

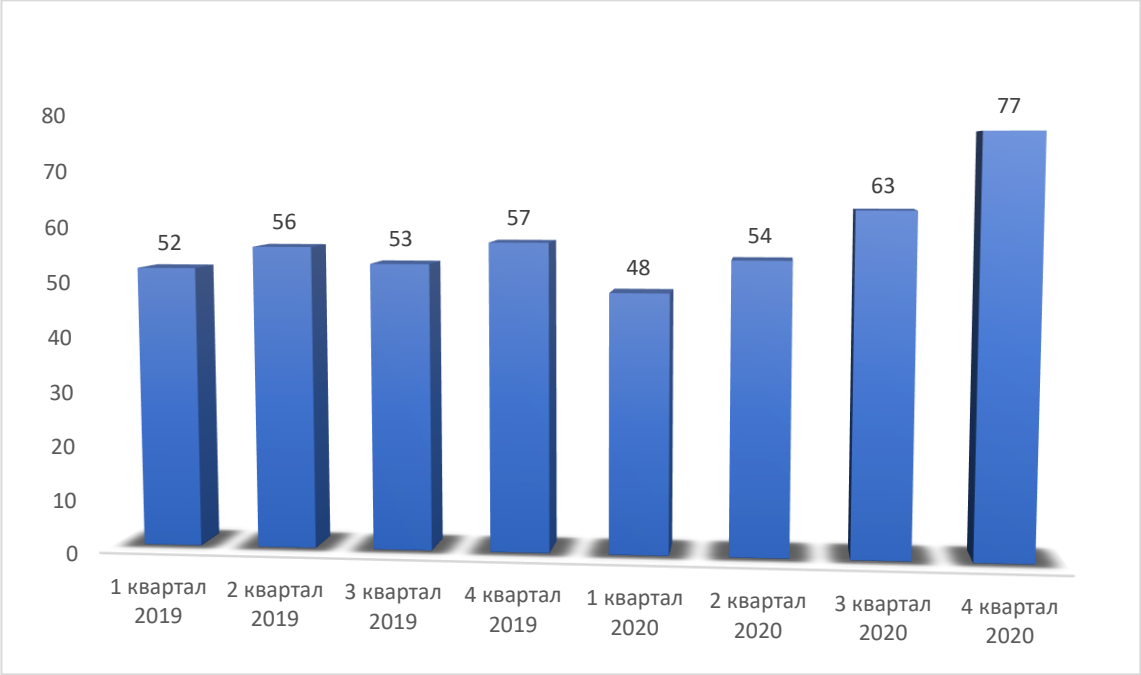


Рисунок 2.44. Динамика числа сделок M&A в телекоммуникационной отрасли в 2019-2020 гг. в АТР

Источник: PwC[113]

При этом совокупная стоимость сделок M&A в АТР непрерывно сокращается на протяжении 2017-2020 гг. (рисунок ниже).

[113] PwC. M&A Report 20211. URL: https://www.pwc.com/gx/en/services/deals/trends/2021/telecommunications-media-technology.html

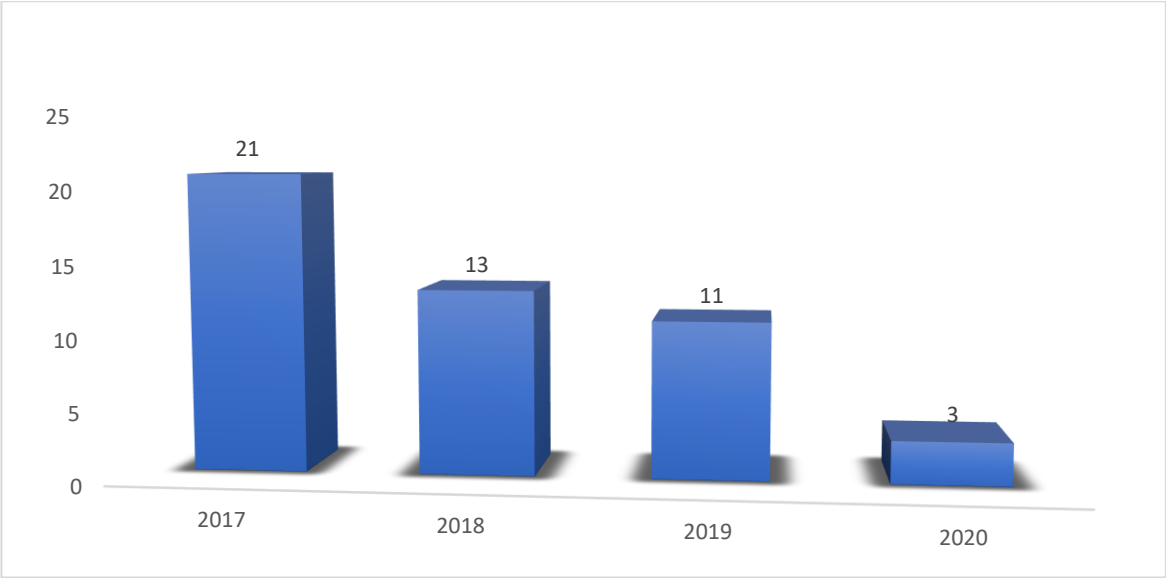


Рисунок 2.45. Совокупная стоимость сделок M&A в АТР в 2017-2020 гг., млрд. долл.

Источник: Bain[114]

Средняя стоимость сделки M&A на рынке телекоммуникаций стран АТР составила 12,4 млн. долл. в 2020 году, что является наименьшим значением среди всех рассматриваемых регионов.

В области M&A на рынке телекоммуникаций в странах Азии можно выделить следующие ключевые сделки:

- инвестирование Facebook в крупную телекоммуникационную компанию Индии на сумму в 5,7 млрд. долл. в 2020 г.[115];
- полный выкуп Nippon Telegraph&Telephone своей дочерней компании, отвечающей за мобильные сети, за 38 млрд. долл. Главной целью выкупа является повышение контроля над

[114] Bain. Global M&A Report 2021. URL: https://www.bain.com/globalassets/noindex/2021/bain_report_global_m_and_a_report_2021.pdf

[115] India Approves Facebook's 5-7 billion Deal With Reliance Jio Platforms. URL: https://techcrunch.com/2020/06/24/india-approves-facebooks-5-7-billion-deal-with-reliance-jio-platforms/

потоками доходов для перераспределения средств в сторону развития услуг 5G и Интернета вещей[116].

По мере развития технологии сетей 5G мы прогнозируем рост числа сделок M&A, что связано с потребностью в быстром развертывании новых сетей для захвата доли телекоммуникационного рынка.

2.7 Анализ венчурных сделок на рынке

Для анализа венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи систематизированы венчурные сделки для Северной Америки, Европы и Азии по следующим параметрам:

1. стадия инвестирования (предпосевная, посевная, раунд A, раунд B, раунд C, остальные раунды);
2. тип инвестиций (бизнес-ангелы, прямая продажа, конвертируемая облигация, вторичный рынок);
3. сегмент рынка (инфраструктура коммуникаций, спутниковая связи, беспроводная связь).

Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Северной Америке для 2020 года представлена в таблице ниже.

Таблица 2.1. Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Северной Америке в 2020 г.

Стадия		Инфраструктура коммуникаций	Спутниковая связь	Беспроводная связь
Предпосевная	Число	6	6	7
	Сумма (млн. долл.)	1,465	0,12	0,95
Посевная	Число	22	12	20

[116] Japan's NTT to spend $38B to buy out. URL: https://www.washingtonpost.com/business/reports-phone-giant-ntt-plans-to-take-over-delist-docomo/2020/09/28/7b0b87a8-0205-11eb-b92e-029676f9ebec_story.html

	Сумма (млн. долл.)	34,9	29,17	90,2
Раунд A	Число	3	6	9
	Сумма (млн. долл.)	40	157,8	75,7
Раунд B	Число	2	8	9
	Сумма (млн. долл.)	68	692,8	217
Раунд C	Число	4	3	10
	Сумма (млн. долл.)	206	250	215,8
Остальные раунды	Число	16	11	36
	Сумма (млн. долл.)	395	138,6	1658,5
Бизнес-ангелы	Число	1	1	0
	Сумма (млн. долл.)	1,2	0,5	
Прямая продажа	Число	7	1	10
	Сумма (млн. долл.)	521	61	405
Конвертируемая облигация	Число	2		5
	Сумма (млн. долл.)	0,05		42
Вторичный рынок	Число	1	1	1
	Сумма (млн. долл.)	20	100	20

Источник: Crunchbase[117]

Таким образом, в 2020 году общее число венчурных сделок на рынке составило 190 на сумму 4,27 млрд. долл.

[117] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

В 2021 году число сделок сократилось до 61, общая сумма составила 1,9 млрд. долл. (таблица ниже).

Таблица 2.2. Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Северной Америке в 2021 г.

Стадия		Инфраструктура коммуникаций	Спутниковая связь	Беспроводная связь
Предпосевная	Число	2	3	2
	Сумма (млн. долл.)	1,045	1,1	0,5
Посевная	Число	12	6	12
	Сумма (млн. долл.)	30,7	3,15	26,75
Раунд А	Число	2	2	2
	Сумма (млн. долл.)	25	92,8	12,4
Раунд В	Число	2	4	5
	Сумма (млн. долл.)	68	430	73
Раунд С	Число	1	2	3
	Сумма (млн. долл.)	16	250	106
Остальные раунды	Число	8	6	14
	Сумма (млн. долл.)	336	54,2	862
Бизнес-ангелы	Число	0	0	0
	Сумма (млн. долл.)	0	0	0
Прямая продажа	Число	3	1	9
	Сумма (млн. долл.)	500	61	405,5
	Число	0	0	2

Конвертируемая облигация	Сумма (млн. долл.)	0	0	0,1
Вторичный рынок	Число	0	1	1
	Сумма (млн. долл.)	0	100	10

Источник: Crunchbase[118]

Одной из наиболее крупных венчурных сделок на данном рынке совершила технологическая компания LinkNYC в ноябре 2021 года. Компания привлекла 200 млн. долл. в рамках нового раунда венчурного финансирования[119]. LinkNYC занимается запуском публичный Wi-Fi сетей, но также планирует развертывать сети 5G в США.

Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Европе для 2020 года представлена в таблице ниже.

Таблица 2.3. Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Европе в 2020 г.

Стадия		Инфраструктура коммуникаций	Спутниковая связь	Беспроводная связь
Предпосевная	Число	0	1	1
	Сумма (млн. долл.)	0	0,8	0,2
Посевная	Число	3	2	6
	Сумма (млн. долл.)	1	0,76	4,5
Раунд А	Число	7	4	5
	Сумма (млн. долл.)	47,6	23	20,1

[118] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

[119] LinkNYC (CityBridge) Crosses $200+ Million Investment. URL: https://oohtoday.com/linknyc-citybridge-crosses-200-million-investment/

Раунд B	Число	6	0	1
	Сумма (млн. долл.)	11	0	10,5
Раунд C	Число	6	0	0
	Сумма (млн. долл.)	190,5	0	0
Остальные раунды	Число	1	3	5
	Сумма (млн. долл.)	100	104,4	42,2
Бизнес-ангелы	Число	6	0	0
	Сумма (млн. долл.)	17,5	0	0
Прямая продажа	Число	0	1	0
	Сумма (млн. долл.)	0	1,3	0
Конвертируемая облигация	Число	0	0	2
	Сумма (млн. долл.)	0	0	1,5
Вторичный рынок	Число	0	0	0
	Сумма (млн. долл.)	0	0	0

Источник: Crunchbase[120]

По данным за 2020 год, общее число венчурных сделок на данном рынке в Европе составило 51, сумма инвестиций 556 млн. долл.

В 2021 году наблюдается снижение числа сделок более чем в 2 раза (до 23), но сумма инвестиций составляет 508,6 млн. долл. (таблица ниже). Следовательно, происходит тенденция роста оцениваемой стоимости компаний, разрабатывающих технологии связи нового поколения в Европе.

[120] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

Таблица 2.4. Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Европе в 2021 г.

Стадия		Инфраструктура коммуникаций	Спутниковая связь	Беспроводная связь
Предпосевная	Число	2	2	2
	Сумма (млн. долл.)	0,006	1	1
Посевная	Число	1	3	3
	Сумма (млн. долл.)	1	3,86	0,35
Раунд А	Число	1	0	0
	Сумма (млн. долл.)	6	0	0
Раунд В	Число	4	2	0
	Сумма (млн. долл.)	79,5	77	0
Раунд С	Число	1	4	0
	Сумма (млн. долл.)	100	401,5	0
Остальные раунды	Число	0	0	7
	Сумма (млн. долл.)	0	0	23,9
Бизнес-ангелы	Число	0	0	0
	Сумма (млн. долл.)	0	0	0
Прямая продажа	Число	2	0	1
	Сумма (млн. долл.)	1636	0	50
Конвертируемая облигация	Число	0	0	0
	Сумма (млн. долл.)	0	0	0

Вторичный рынок	Число	0	0	0
	Сумма (млн. долл.)	0	0	0

Источник: Crunchbase[121]

Одной из крупнейших венчурных сделок венчурной сделкой на европейском рынке является привлечение 50 млн. фунтов стерлингов стартапом Wildanet. Wildanet - это поставщик услуг беспроводного Интернета, обеспечивающий широкополосный доступ в Интернет для физических и юридических лиц.

Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Азии для 2020 года представлена в таблице ниже.

Таблица 2.5. Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Азии в 2020 г.

Стадия		Инфраструктура коммуникаций	Спутниковая связь	Беспроводная связь
Предпосевная	Число	2	2	0
	Сумма (млн. долл.)	0,12	0,12	0
Посевная	Число	6	4	2
	Сумма (млн. долл.)	3	8,7	1,5
Раунд А	Число	8	6	9
	Сумма (млн. долл.)	62,3	83,1	79,65
Раунд В	Число	1	1	4
	Сумма (млн. долл.)	13	40,5	60,2

[121] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

Раунд C	Число	1	2	3
	Сумма (млн. долл.)	30	20	218
Остальные раунды	Число	8	4	8
	Сумма (млн. долл.)	9,47	5	133,6
Бизнес-ангелы	Число	1	0	1
	Сумма (млн. долл.)	0,3	0	1,5
Прямая продажа	Число	1	0	0
	Сумма (млн. долл.)	10	0	0
Конвертируемая облигация	Число	0	1	0
	Сумма (млн. долл.)	0	3,5	0
Вторичный рынок	Число	0	0	1
	Сумма (млн. долл.)	0	0	10

Источник: Crunchbase[122]

Общее число сделок в Азии составляет 71 единицу в 2020 году. Общая сумма – 768,3 млн. долл.

За 2021 год произошло сокращение числа сделок до 23 при сокращении общей величины инвестиций до 303,4 млн. долл. (таблица ниже).

Таблица 2.6. Статистика венчурных сделок на рынке нового поколения технологий связи в Азии в 2021 г.

Стадия		Инфраструктура коммуникаций	Спутниковая связь	Беспроводная связь

[122] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

Предпосевная	Число	1	2	0
	Сумма (млн. долл.)	0,12	0,12	0
Посевная	Число	2	3	1
	Сумма (млн. долл.)	1,5	5,1	1,5
Раунд A	Число	4	3	6
	Сумма (млн. долл.)	0,6376	37	22,693
Раунд B	Число	0	0	1
	Сумма (млн. долл.)	0	0	13
Раунд C	Число	0	1	2
	Сумма (млн. долл.)	0	20	200
Остальные раунды	Число	4	2	2
	Сумма (млн. долл.)	4,7	2	2
Бизнес-ангелы	Число	1	0	1
	Сумма (млн. долл.)	0,1	0	1,5
Прямая продажа	Число	0	0	0
	Сумма (млн. долл.)	0	0	0
Конвертируемая облигация	Число	0	0	0
	Сумма (млн. долл.)	0	0	0
Вторичный рынок	Число	0	0	1
	Сумма (млн. долл.)	0	0	5

Источник: Crunchbase[123]

Среди крупных сделок на данном рынке можно отметить привлечение 200 млн. долл. в мае 2019 года компанией LiveU. LiveU разрабатывает технологию для телеканалов, позволяющую передавать видео в режиме реального времени через беспроводные сотовые сети.

Важно отметить, что на рынке существует тенденция увеличения числа сделок между государственным и частным секторами. В качестве примеров можно отметить приобретение испанской телекоммуникационной компании Masmovil компаниями Providence, Cinven и KKR, сделку Altice Europe и ее мажоритарного акционера Патрика Драхи, приобретение компанией iliad польского оператора Play. Эти сделки отражают различные варианты взаимодействия государства и частного сектора, в которых частные инвесторы или их инвестиционные инструменты напрямую воздействуют на бизнес государственных компаний.

[123] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

Глава 3. Анализ деятельности компаний рынка нового поколения технологий связи в России и мире

3.1. Анализ конкурентной среды и структуры рынка

3.1.1 Мир

Общее число компаний на рынке нового поколения технологий связи в мире составляет 8937 в 2021 году, согласно данным Crunchbase.

Наибольшее число компаний расположено в Северной Америке (5025) (рисунок ниже).

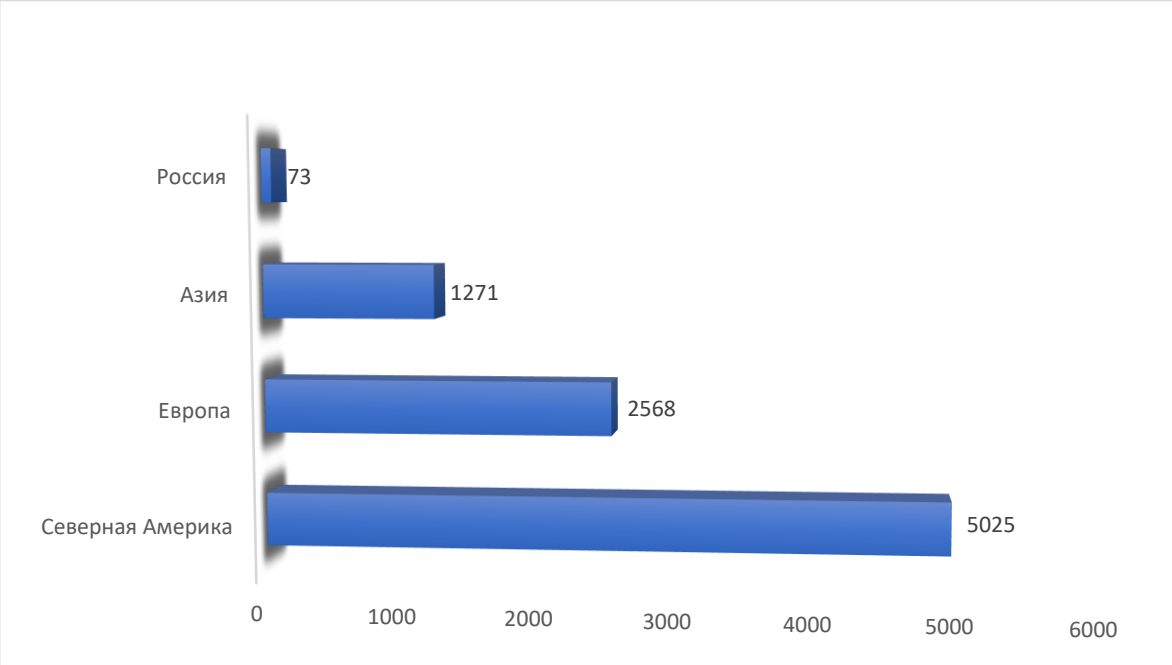


Рисунок 3.1. Число компаний на рынке нового поколения технологий связи в Северной Америке, Европе, Азии и России

Источник: Crunchbase[124]

На втором месте находится Европа (2568 компаний). В Азии расположено 1271 компаний, в России – 73.

[124] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

Далее будут представлены ключевые компании, которые отличаются инновационностью решений в сфере технологий связи, по анализируемым регионам.

3.1.2 Северная Америка

В США и Канаде работает наибольшее число инновационных компаний на рынке технологий связи нового поколения (таблица ниже).

Таблица 3.1. Совокупное число компаний и число публичных компаний на рынке нового поколения технологий связи в США и Канаде в 2021 году

Страна	Показатель	Значение
США	Число компаний	4549
	Число публичных компаний	102
Канада	Число компаний	443
	Число публичных компаний	13

Источник: Crunchbase[125]

Далее будут представлены ключевые показатели наиболее инновационных компаний на данном рынке: совокупная выручка, общий объем привлеченного финансирования (сумма сделок венчурных инвестиций и сумма собственного капитала), сегмент рынка нового поколения технологий связи, рыночная доля в данных сегментах в мире.

Таблица 3.2. Ключевые показатели для наиболее инновационных компаний Северной Америки

[125] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

	Совокупная выручка	Общий объем привлеченного финансирования	Сегмент рынка	Рыночная доля	Темп роста выручки 2020-2021 гг.
ViaSat (США)	2,3 млрд. долл.	312,8 млн. долл.	беспроводная связь, спутниковая связь, WWAN, WLAN	3%	12%
Cisco (США)	49,3 млрд. долл.	41,3 млрд. долл.	беспроводная связь, WLAN	38%	7,4%
Motorola Solutions (США)	7,41 млрд. долл.	1 млрд. долл.	инфраструктура коммуникаций, WWAN	6%	8%
Digi International (США)	309 млн. долл.	247 млн. долл.	инфраструктура коммуникаций	0,60%	12,4%
TELUS (Канада)	15,34 млрд. долл.	12,6 млрд. долл.	беспроводная связь, WLAN, WWAN	11,60%	6,8%
Helium (США)	до 50 млн. долл.	164,8 млн. долл.	беспроводная связь, WLAN	менее 1%	-
ABL Space Systems (США)	39,5 млн. долл.	419 млн. долл.	спутниковая связь	менее 1%	-
Plume (США)	29,2 млн. долл.	747,4 млн. долл.	беспроводная связь, WLAN	менее 1%	-

Viasat

Одним из лидеров рынка является транснациональная корпорация ViaSat. Данная компания предоставляет услуги широкополосного доступа.

Viasat разрабатывает технологии спутниковой связи с ориентацией на достижение максимальной пропускной способностью сети.

Также Viasat развивает международную сеть точек доступа Wi-Fi, за счет который компания расширяет охват и доступность широкополосных Интернет-услуг в мире.

Компания разработала и запустила самый мощный спутник связи в мире (Viasat-1), а также в 2019 году начала запуски спутников при помощи одной из наиболее эффективных ракет Ariane 64 для раздачи широкополосного интернета.

Cisco

Cisco разрабатывает аппаратное обеспечение и программное обеспечение для создания Интернет-решений, которые повышают доступность мобильной связи.

Компания предлагает коммутационные продукты, включая коммутаторы с фиксированной конфигурацией и модульные коммутаторы, а также продукты для хранения данных, которые обеспечивают подключение конечных пользователей, рабочих станций, IP-телефонов, точек беспроводного доступа и серверов.

Также Cisco разрабатывает продукты сетевой маршрутизации нового поколения, которые соединяют общедоступные и частные проводные и мобильные сети для мобильных приложений, приложений передачи данных, аудио сообщений и видео.

Motorola Solutions

Motorola Solutions – это поставщик оборудования для передачи данных. Компания сформировалась после отделения подразделения мобильных устройств в Motorola Mobility Holdings, Inc. в 2011 году.

Motorola Solutions создает инновационные коммуникационные решения, которые нацелены развитие умных городов при достижении высоких характеристик информационной безопасности. Продукция компании

востребована в различных отраслях: правоохранительная система, пожарная охрана, срочная медицинская помощь, государственная безопасность, коммунальные услуги, горнодобывающая промышленность, энергетика, обрабатывающее производство, гостиничный бизнес, розничная торговля, транспорт, образование и общественные услуги.

Digi International

Digi International - глобальный поставщик продуктов, услуг и решений для подключения к Интернету вещей. Компания развертывает и управляет критически важными коммуникационными инфраструктурными решениями в сложных системах с высоким уровнем безопасности и надежности.

В частности, компания производит системы на модули Digi CinnectCore для сетей Wi-Fi и Bluetooth, экосистемы Digi XBee для решений в сфере Интернета вещей.

TELUS

TELUS – это одна из крупнейших телекоммуникационных компаний в Канаде. TELUS предоставляет услуги беспроводной телефонной связи, высокоскоростной Интернет, IPTV, междугородная связь и другие услуги.

В 2020 году TELUS объявила, что развертывает сеть 5G в Ванкувере, Монреале, Калгари, Эдмонтоне и Торонто, продолжит расширяться на еще 26 территориях в Канаде в течение 2020-2021 гг. Скорость передачи данных составляет до 1,7 Гбит/с.

Helium

Helium предлагает платформу для разработчиков Интернета вещей для построения сети и передачи данных с использованием устройств Интернета вещей.

Решения данной компании предназначения для реализации концепций промышленного Интернета вещей и умного города.

Платформа Helium генерирует одноранговую беспроводную сеть, чтобы упростить подключение к Интернету, стимулируя пользователей выполнять

функции оператора сети. Платформа обеспечивает беспроводное покрытие для маломощных устройств Интернета вещей и использует для этого криптовалюты Helium.

Токены Helium генерируются через проверки сетевых транзакций, добавления новых блоков в цепочку блоков и выполнения других задач. Платформа основана на Proof-of-Coverage – это уникальный алгоритм работы, который использует радиоволны для проверки того, что точки доступа обеспечивают допустимое покрытие беспроводной сети.

ABL Space Systems

ABL Space Systems – это крупный разработчик на рынке спутниковой связи. Компания была основана бывшими инженерами SpaceX в 2017 году для разработки недорогих ракет-носителей для индустрии малых спутников. Штаб-квартира ABL находится в Калифорнии, где компания владеет помещениями площадью 30 тыс. кв. м. для проведения НИОКР. Важно отметить, что ABL - это частная корпорация, которая опирается на венчурные инвестиции.

Plume

Plume разрабатывает платформу по модели программного обеспечения как услуги (SaaS) для поставщиков услуг связи. Данная платформа позволяет предоставлять услуги для систем умных домов.

Plume разрабатывает платформу, которая обслуживает умные дома, предоставляя жителям такие функции, как оптимальный Wi-Fi, родительский контроль и обнаружение движения, а также предоставляя поставщикам услуг связи серверные приложения для оказания поддержки.

3.1.3 Европа

Статистика по конкурентной среде в Европе представлена в таблице ниже.

Таблица 3.3. Совокупное число компаний и число публичных компаний на рынке нового поколения технологий связи в Европе в 2021 году

Страна	Показатель	Значение
Франция	Число компаний	224
	Число публичных компаний	6
Германия	Число компаний	283
	Число публичных компаний	3
Италия	Число компаний	105
	Число публичных компаний	2
Испания	Число компаний	195
	Число публичных компаний	1
Великобритания	Число компаний	630
	Число публичных компаний	11
Европа	Число компаний	2568
	Число публичных компаний	42

Источник: Crunchbase[126]

Ключевые показатели для наиболее инновационных компаний:

Таблица 3.4. Ключевые показатели для наиболее инновационных компаний Европы

	Совокупная выручка	Общий объем привлеченного финансирования	Сегмент рынка	Рыночная доля	Темп роста выручки 2020-2021 гг.
Bouygues Telecom (Франция)	6,5 млрд. долл.	11,8 млрд. долл.	беспроводная связь, WWAN	8,60%	4,6%
Ericsson (Швеция)	25,3 млрд. долл.	9,3 млрд. долл.	беспроводная связь, WWAN,	11%	13%

[126] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

			инфраструктура коммуникаций		
Nokia (Финляндия)	23,3 млрд. долл.	14,3 млрд. долл.	беспроводная связь, WWAN, инфраструктура коммуникаций	8%	-6,3%
OneWeb (Великобритания)	103,1 млн. долл.	4,7 млрд. долл.	спутниковая связь	0,10%	-
Isotropic Systems Limited (Великобритания)	14 млн. долл.	97 млн. долл.	беспроводная связь, WWAN, спутниковая связь	менее 1%	-
Mynaric (Германия)	50,4 млн. долл.	15,7 млн. долл.	спутниковая связь	менее 1%	53%
Sigfox (Франция)	50 млн. долл.	308,4 млн. долл.	беспроводная связь, WWAN	менее 1%	20%
Worldsensing (Испания)	7,7 млн. долл.	23,4 млн. долл.	беспроводная связь, WLAN	менее 1%	53%

Bouygues Telecom

Bouygues Telecom является одной из крупнейших телекоммуникационных компаний в Европе. Компания уже запустила 5G сети в 2020 году, покрытие 5G достигло 67 городов с населением более 50 тыс. человек.

Bouygues Telecom на первом этапе запустила 5G сети в 20 городах Франции, включая Париж, Лион, Ницца, Канны, Монпелье, Авиньон, Реймс, Гавр, Тулон, Дижон, Виллербан, Ле-Ман, Экс-ан-Прованс, Булонь-Бийанкур, Мец, Версаль, Сент. Дени, Аржантей, Руан, Монтрей и Нанси.

Французский оператор заявил, что планирует достичь полного покрытия территории Франции к концу 2021 года. Текущий этап развертывания работает на частотах 3,5 ГГц и 2,1 ГГц.

Ericsson

Ericsson является одним из лидеров в мире по развертыванию 5G сетей. Компания запускает сети в нескольких странах, включая Китай, Великобританию, Швецию. Компания разработала сеть 5G Core, которая создана на базе архитектуры, основанной на сервисах. Все функции сети функционируют на основе облачных принципов, таких как разделение плоскости пользователя и плоскостей управления, сетевые функции без сохранения состояния, открытые интерфейсы и API. Данные функции достаточно легко масштабировать для запуска новых сервисов с более низкой стоимостью.

Nokia

Компания занимается строительством сетей 5G по всему миру. Так. в 2021 году Nokia получила возможность запустить сети 5G на территории Китая совместно с China Mobile. Компания разработала и развивает свою сеть 5G Core.

Isotropic Systems Limited

Isotropic Systems Limited (ISL) разрабатывает наиболее эффективные низкопрофильные антенны в мире, которые являются конформными, многодиапазонными и гибко управляемыми. ISL является частной компанией со штаб-квартирой в Лондоне.

Антенна ISL является первой широкополосной низкопрофильной антенной с полностью электронным управлением, масштабируемой до

эффективных апертур. Данная антенна может быть спроектирована для соответствия большому числу критериев. Антенны, разработанные для спутникового вещания, VSAT, беспроводной связи и широкополосной связи 5G, имеют относительно низкую стоимость и не имеют движущихся частей, что соответствует требованиям мобильности.

Mynaric

Mynaric производит оптическое волокно для воздушных и космических сетей связи. Компания является пионером в области лазерной связи. Продукция Mynaric обеспечивает быструю и безопасную беспроводную передачу данных между самолетами, дронами и спутниками.

Проектируемые системы связи компании состоит из тысяч передвижных платформ и спутников, которые обеспечат доступную связь для 3 млрд. пользователей. Mynaric предлагает продукты лазерной связи для создания необходимых магистралей передачи данных для телекоммуникационных группировок в воздухе и космосе.

Sigfox

Sigfox – это мировой лидер в области подключения к Интернету вещей. Компания построила глобальную сеть для подключения миллиардов устройств к Интернету. Важными преимуществами сети Sigfix являются высокая энергоэффективность и относительная простота имплементации.

Подход Sigfox к обмену данными между устройствами и облаком устраняет три основных барьера на пути глобального внедрения Интернета вещей: стоимость, энергопотребление и масштабируемость в глобальном аспекте. Sigfox сеть присутствует в 26 странах мира. Благодаря большому числу подключенных объектов и быстрорастущей партнерской экосистеме Sigfox стимулирует создавать новые продукты на основе Интернета вещей, в том числе в сфере автономного транспорта.

Worldsensing

Worldsensing – это один из лидеров на европейском рынке решений на основе Интернета вещей. Компания опирается на свой опыт в беспроводных сетях низкой мощности и создала комплексные вертикальные решения в секторах, где Интернет вещей играет ключевую роль:

1. мобильные решения. Компания предлагает Bitcarrier, решение для управления потоками в режиме реального времени, и Fastprk, лидирующую на рынке систему умной парковки;
2. промышленные решения. Компания предлагает платформу LS-G6 для мониторинга ключевых активов в удаленных или труднодоступных местах. Реализованные проекты включают мосты, туннели, большие общественные здания и объекты инфраструктуры, линии электропередач.

OneWeb

OneWeb создает глобальную космическую сеть связи, которая обеспечивает высокоскоростной доступ в Интернет с малой задержкой.

Компания разрабатывает сеть связи на основе спутников на низкой околоземной орбите. OneWeb планирует предоставить новые решения для широкополосного доступа, правительственных сетей и транспортных сетей сотовой связи. Разрабатываемая высокоскоростная сеть с малой задержкой будет предлагать решения по мобильности для отраслей, которые опираются на глобальную связь, таких как авиация, мореходство, автомобильный транспорт и др.

В 2019 году OneWeb начала запуски спутниковой системы OneWeb, сети из более чем 650 спутников на низкой околоземной орбите. К 2021 году компания уже запустила 74 из запланированных 648 спутников в первоначальной системе.

3.1.4 Азия

Всего в Азии работают 1271 компаний на рынке нового поколения технологий связи, из них 167 являются публичными (таблица ниже).

Таблица 3.5. Совокупное число компаний и число публичных компаний на рынке нового поколения технологий связи в Азии в 2021 году

Страна	Показатель	Значение
Китай	Число компаний	309
	Число публичных компаний	87
Япония	Число компаний	194
	Число публичных компаний	13
Южная Корея	Число компаний	108
	Число публичных компаний	3
Сингапур	Число компаний	78
	Число публичных компаний	6
Индия	Число компаний	188
	Число публичных компаний	11
Израиль	Число компаний	161
	Число публичных компаний	10
Азия	Число компаний	1271
	Число публичных компаний	167

Источник: Crunchbase[127]

Ключевые показали для наиболее инновационных компаний:

Таблица 3.6. Ключевые показатели для наиболее инновационных компаний Азии

[127] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

	Совокупная выручка	Общий объем привлеченного финансирования	Сегмент рынка	Рыночная доля	Темп роста выручки 2020-2021 гг.
Huawei Carrier (Китай)	44 млрд. долл.	544,1 млн. долл.	беспроводная связь, инфраструктура коммуникаций	34%	3,8%
Idea Cellular (Индия)	5,5 млрд. долл.	544,1 млн. долл.	беспроводная связь, WWAN, инфраструктура коммуникаций	4,50%	18,6%
Celeno Communications (Израиль)	37 млн. долл.	116,2 млн. долл.	инфраструктура коммуникаций	менее 1%	63%
Wiliot (Израиль)	до 100 млн. долл.	269 млн. долл.	инфраструктура коммуникаций	0,10%	-
Infostellar (Япония)	4 млн. долл.	11,9 млн. долл.	спутниковая связь, инфраструктура коммуникаций	менее 1%	-

Huaqin Telecom Technology (Китай)	5,76 млрд. долл.	320 млн. долл.	беспроводная связь (непрофильный вид деятельности)	менее 1%	-

Huawei Carrier

Huawei Carrier – это подразделение Huawei, занимающееся развёртыванием сетей 5G. Компания первая в мире выпустила чип 5G на основе Balong 5G01 и чип CPE 5G, совместимый с 3GPP 15. Huawei – один из немногих поставщиков в мире, которые могут предоставлять комплексные масштабируемые решения для развития цепочки стоимости сетей 5G.

Celeno Communications

Celeno Communications занимается производством полупроводников, разрабатывает компоненты и подсистемы для высокопроизводительных систем и Wi-Fi сетей. Технологические решения Celeno обеспечивают повышение пропускной способности, покрытия и QoS (качество обслуживания сети), необходимые для доставки услуг в сфере Triple Play HDTV, SDTV, VoIP и др.

Ключевое конкурентное преимущество компании заключается в разработке технологий интеллектуальной антенны, пространственной коммутации радиосвязи в сочетании с адаптивным кодированием каналов и динамическом пространственно-временном планированием. Данные технологии предназначена для приложений, требующих высокого уровня производительности, постоянного качества обслуживания мультимедиа операторского класса (англ. Carrier grade) и высокой степени информационной безопасности.

Wiliot

Компания разрабатывает платформу, которая сочетает в себе облачные сервисы и тонкоплёночные электронные схемы для устрой Интернета вещей, вычислительные элементы, которые могут собирают радиочастотную энергию. Эта комбинация облачных и полупроводниковых технологий используется фармацевтическими компаниями и компаниями в отрасли FMCG.

Huaqin Telecom Technology

Huaqin Telecom Technology занимает первое место в индустрии ODM (Original Design Manufacturer — контрактное производство продукции с уникальным дизайном) для смартфонов и планшетов в мире. Основной бизнес которой охватывает смартфоны, планшеты, ноутбуки, но компания активно развивает технологии связи и продукты Интернета вещей с 2016 года.

Idea Cellular

Idea Cellular - это интегрированный оператор GSM, предлагающий услуги 2G, 3G и 4G, и имеющий собственные операции NLD и ILD, а также лицензию ISP. Компания является 3-м по величине операторм мобильной связи в Индии, глобальный трафик составляет более 1,5 миллиарда минут в день.

Платформа Idea обслуживания клиентов сертифицирована по стандарту ISO 9001: 2008, что делает его единственным оператором в Индии, имеющим данный сертификат для всех 22 областей обслуживания. Idea предлагает широкий спектр высокоскоростных мобильных широкополосных устройств, включая смартфоны на основе 3G и 4G, цифровые ключи и др.

Infostellar

Infostellar создает инфраструктуру космической связи и разрабатывает облачную платформу совместного использования спутниковых антенн StellarStation. За счет снижения стоимости трафика и повышения времени передачи данных компания дает возможность операторам спутниковой связи расширять потенциальный охват рынка.

3.1.5 Россия

Статистика по конкурентной среде в России представлена в таблице ниже.

Таблица 3.7. Совокупное число компаний и число публичных компаний на рынке нового поколения технологий связи в России в 2021 году

Страна	Показатель	Значение
Россия	Число компаний	73
	Число публичных компаний	7

Источник: Crunchbase[128]

Ключевые показали для наиболее инновационных компаний представлены в таблице ниже (см. табл. 3.8).

Таблица 3.8. Ключевые показатели для наиболее инновационных компаний России

	Совокупная выручка	Общий объем привлеченного финансирования	Сегмент рынка	Рыночная доля	Темп роста выручки 2020-2021 гг.
МТС	6,9 млрд. долл.	454 млн. долл.	беспроводная связь, WWAN, WLAN	8,9%	5,2%
Мегафон	1,17 млрд. долл.	3,23 млрд. долл.	беспроводная связь,	1,5%	-6,1%

[128] Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com

			WWAN, WLAN		
ВымпелКом (Билайн)	3,8 млрд. долл.	1,95 млрд. долл.	беспроводная связь, WWAN, WLAN	4,9%	-5,3%
Ростелеком	7,59 млрд. долл.	3 млрд. долл.	беспроводная связь, WWAN, WLAN	9,8%	15%
Теле2-Россия	1,98 млрд. долл.	410 млн. долл.	беспроводная связь, WWAN, WLAN	2,5%	14%
Ростех	26 млн. долл.	30 млн. долл.	инфраструктура коммуникаций	менее 1%	6%
Гонец	9,7 млн. долл.	5 млн. долл.	спутниковая связь	менее 1%	-
Интерспутник	100 млн. долл.	5 млн. долл.	спутниковая связь	1,2%	-

МТС

МТС является одним из лидеров на телекоммуникационном рынке России и СНГ. Компания активно развивает технологии 5G в России. Так, в мае 2021 года была запущена первая 5G сети в Петербурге, которая является доступной для пользователей. Скорость составляет до 1,5 Гбит/с. До этого в марте 2021 года была запущена пользовательская сеть 5G в пилотном режиме (скорость передачи данных составляла до 1,5 Гбит/с).

МТС проводит вместе с Huawei тестирования станций 5G в Москве на основе антенн Massive MIMO. Скорость передачи данных в рамках испытаний составляет до 5,6 Гбит/с.

Мегафон, ВымпелКом (Билайн), Ростелеком

Мегафон, ВымпелКом и Ростелеком являются одними из лидеров телекоммуникационного рынка России. Данные компании совместными усилиями занимаются строительством сетей 5G в России, согласно одобренному Федеральной антимонопольной службой России соглашения между компаниями в 2021 году. Тем не менее, результаты данных компаний в развитии сетей 5G являются относительно менее успешными по сравнению с МТС и Теле2.

Теле2-Россия

Компания активно развивает сети 5G в Москве и других регионах России. Так, в июне 2021 года компания запустил первую в Россию тестовую 5G-сеть в метро (скорость до 3,8 Гбит/с).

Также, тестовая сеть была запущена в Казани в 2021 году.

Ростех

Ростех является государственной корпорацией. Компания получила инвестиции в 21,46 млрд. руб. на развитие 5G решений в 2022-2024 гг. Ростех занимается производством оборудования для 5G сетей. В планах компания имеет создать комплексное 5G-решение, включающее в себя базовые станции и опорную сеть (ядро сети).

Гонец

АО «Спутниковая система „Гонец“» является разработчиком многофункциональной системы персональной спутниковой связи «Гонец». Данная система функционирует на базе низкоорбитальных космических аппаратов.

В состав системы входят спутники (Гонец-Д1М, Гонец-М) и региональные станции (Москва, Южно-Сахалинск, Железногорск, Мурманск, Ростов-на-Дону, Норильск, Анадырь).

Интерспутник

Интерспутник - спутниковый оператор, объединяющий 26 стран (большинство из них страны СНГ), а также поставщик полного спектра услуг спутникового оборудования и инженерных решений на мировом рынке.

Компания предлагает аренду спутниковой емкости, орбитально-частотный ресурс, а также создание и эксплуатацию наземной инфраструктуры спутниковой связи.

3.2. Стратегии ключевых игроков рынка

На основе анализа конкурентной среды были выделены 4 наиболее распространенные стратегии ключевых игроков рынка нового поколения технологий связи:

1. запуск комплексных (End-to-End) решений на основе стратегических партнерств;
2. агрессивная стратегия поглощений инновационных компаний;
3. фокус на внутреннем рынке;
4. развитие международных проектов.

Далее данные стратегии будут рассмотрены подробнее.

Запуск комплексных (End-to-End) решений на основе стратегических партнерств.

Компании на рынке нового поколения технологий связи находятся в ситуации, когда располагаемые ресурсы являются недостаточными для быстрого развертывания новых сетей. Поэтому крупные компании используют стратегические партнерства для запуска комплексных решений. Данные решения агрегируют поставщиков услуг (операторов связи) и потребителей услуг (физические и юридические лица). Таким образом, сети,

запущенные на основе сквозных решений, могут эксплуатироваться не только компаниями, занимающимися непосредственно запуском, но и другими участниками рынка, в том числе конкурентами.

В частности, для запуска сетей 5G, интегрированных в транспортную инфраструктуру города, Ericsson заключила стратегическое партнерство с производителем телекоммуникационного оборудования Juniper Networks. В рамках партнерства применяются ведущие технологические решения от обеих компаний: серия продуктов Ericsson Router 6000 и периферийная и базовая маршрутизация Juniper.

Платформа маршрутизации MX Series 5G от Juniper является одним из немногих протестированных на рынке решений для граничных услуг WAN, обеспечивающее высокую экономическую эффективность, универсальность, гибкость при масштабировании сетей. Транспортные маршрутизаторы Juniper предлагают интегрированные интерфейсы мультиплексирования с разделением по длине волны (DWDM) с возможностью взаимодействия между сериями MX и Ericsson Router 6000.

Агрессивная стратегия поглощений инновационных компаний.

Как было отмечено в п. 2.5, рынок нового поколения технологий связи характеризуется высокой активностью в сфере слияний и поглощений. Наибольшая активность наблюдается в Северной Америка – всего за 2020 год было анонсировано 719 сделок M&A.

Стратегию поглощения используют крупные телекоммуникационные корпорации, чтобы в наиболее короткие сроки получить контроль над ключевыми ресурсами: технологиями, компетенциями, инфраструктурой, проектами.

Например, Digi International анонсировала сделку поглощения Ventus Wireless (компания, предлагающая гибкие беспроводные решения в формате «сеть как услуга») в ноябре 2021 года на сумму 347,4 млн. долл. Ранее Digi International также приобретала инновационного поставщика оборудования и

услуг связи для корпоративных беспроводных сотовых сетей - Accelerated Concepts.

Подобной стратегии также придерживаются такие игроки, как Viasat (например, приобретение Inmarsat за 7,3 млрд. долл.), Cisco (приобретение Acacia Communications за 4,5 млрд. долл.), Bouygues Telecom.

Фокус на внутреннем рынке.

Так как развитие технологий связи нового поколения связано с необходимость масштабного инвестирования в процессы НИОКР, многие компании выбирают стратегию фокусирования на внутреннем рынке. Данная стратегия подразумевает, что компания будет концентрироваться на запуске сетей внутри одной страны для полноценного тестирования технологий. При этом данные компании еще не перешли на стадию международного масштабирования решений, так как большинство технологий связи нового поколения находятся на ранних стадиях практического внедрения.

Примерами компаний, использующих подобную стратегию, являются Idea Cellular, Celeno Communications, Wiliot, TELUS. Большинство компаний ведут свою деятельностью в Азии (кроме Китая) и Европе (в частности, МТС, ВымпелКом, Мегафон, Ростелеком в России), в то время как компании из Северной Америки и Китая в большей степени сконцентрированы на международной экспансии.

Развитие международных проектов.

Телекоммуникационные корпорации, которые имеют глобальные амбиции, стремятся не только реализовывать проекты в рамках страны базирования, но и создавать основу для будущей международной экспансии технологических решений.

Примером международного партнерства является соглашение между МТС и Huawei[129]. Данные компании подписали соглашение о развитии

[129] МТС и Huawei подписали соглашение о развитии 5G в России. URL: https://moskva.mts.ru/about/media-centr/soobshheniya-kompanii/novosti-mts-v-rossii-i-mire/2019-06-05/mts-i-huawei-podpisali-soglashenie-o-razvitii-5g-v-rossii

технологий 5G в 2019 году. Главной целью сотрудничества является реализация пилотного запуска 5G сетей в России. Запуск сетей основывается на инфраструктуре МТС. Со стороны Huawei наибольшую роль играют компетенции, которыми владеет данная компания. Так, Huawei имеет более 16 тыс. патентов в сфере технологии 5G, а также имеет опыт запуска 5G сетей в Китае.

Важно отметить, что совместный проект имеет комплексный характер и включает реализацию сценариев применения 5G технологий в сфере беспилотного транспорта, умного города, Индустрии 4.0 и др.

Другим примером является компания Ericsson, которая реализует совместные проекты с более чем 35 компаниями из Европы, Азии, Северной Америки, Африки[130].

[130] https://www.ericsson.com/en/5g/contracts

Глава 4. Рекомендации по развитию рынка нового поколения технологий связи в России. Оценка перспективных направлений развития для НТИ «Автонет»

4.1. Перспективные рыночные ниши для компаний Национальной технологической инициативы «Автонет»

На основе проведенного в Главах 2 и 3 анализа были разработаны рекомендации по развитию рынка и определены наиболее перспективные рыночные ниши в сегменте технологий связи.

В качестве основы для проведения оценки перспектив и потенциала развития рыночной ниши, по которым оценивали перспективы рыночной ниши:

1. размер рынка через 4-6 лет;
2. средние темпы роста рынка в среднесрочной перспективе (4-6 лет);
3. функционал внедрения в сфере транспорта и логистики;
4. релевантность ресурсов компаний «Автонет».

Оценка критериев 1 и 2 дана в млрд. долл. США и % соответственно. Оценка 3 и 4 критерия проводилась по 10-ти балльной шкале на основе анализа статистических данных и отчетов.

По результатам проведенной оценки были выделены следующие перспективные рыночные ниши:

1. развертывание сетей 5G на крайне высокий частотах;
2. частные сети 5G;
3. разработка оборудования для реализации технологии NB-IoT в России;
4. разработка микросхем Wi-Fi 6, а также программного обеспечения для роутеров и точек доступа;
5. разработка комплексных решений для применения Bluetooth с низким энергопотреблением;

6. разработка оборудования Li-Fi;
7. разработка программного обеспечения для мультифункциональной системы спутникового Интернета вещей.

Далее эти ниши будут рассмотрены подробнее.

Развертывание сетей 5G на крайне высокий частотах.

Таблица 4.1. Характеристика рынка сетей 5G на крайне высокий частотах

Характеристика рынка	Значение
Размер рынка к 2026 году	75,2 млрд. долл.
Средние темпы роста (CAGR) рынка в 2021-2026 гг.	43%
Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	9/10
Релевантность ресурсов компаний «Автонет»	9/10

Источник: [131, 132]

Технологии сетей 5G можно рассматривать в качестве ключевых на текущем этапе в аспекте развития Интернета вещей и высокоавтоматизированного транспорта. Тем не менее, развертывание сетей 5G, как показал проведенный анализ, реализуется всеми основными игроками на телекоммуникационном рынке России.

Одним из наиболее перспективных направлений в сегменте WWAN является развитие сетей 5G на крайне высокий частотах. Данные сети находят широкое применение в сфере транспорта и межмашинного взаимодействия и позволяют существенно повысить скорость передачи информации по сравнению, например, с оптико-волоконным кабелем (более чем в 10 раз).

[131] The Worldwide 5G mmWave Industry is Expected to Reach $75.2 Billion by 2026 at a CAGR of 43%. URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/the-worldwide-5g-mmwave-industry-is-expected-to-reach-75-2-billion-by-2026-at-a-cagr-of-43-301370356.html

[132] The Worldwide 5G mmWave Industry is Expected to Reach $75.2 Billion by 2026 at a CAGR of 43%. URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/the-worldwide-5g-mmwave-industry-is-expected-to-reach-75-2-billion-by-2026-at-a-cagr-of-43-301370356.html

Тестирования сетей 5G в миллиметровом диапазоне (26,5 ГГц – 29,5 ГГц) проводились в Москве, начиная с 2019 года. В то же время правительство Российской Федерации в 2021 году утвердило использование диапазона 24,25-25,25 ГГц для 5G сетей, полноценное развертывание сетей 5G на крайне высокий частотах невозможно в данных условиях. Но в случае утверждения нового диапазона (более 26-30 ГГц) появится возможность для запуска высокоскоростных сетей 5G, которые смогут обеспечивать высокую емкость сети, высокую скорость передачи данных, устойчиво поддерживать необходимый уровень производительности.

Развертывание сетей 5G на крайне высокий частотах является одним из наиболее перспективных направлений для среднесрочного развития для АО «Мегафон», т.к. данная рыночная ниша не является перенасыщенной, при этом новые возможности в случае успешной реализации проектов в этой сфере позволяет существенно повысить эффективность технологий Интернета вещей в городской среде.

Частные сети 5G.

Таблица 4.2. Характеристика рынка частных сетей 5G

Характеристика рынка	Значение
Размер рынка к 2026 году	14,28 млрд. долл.
Средние темпы роста (CAGR) рынка в 2021-2026 гг.	39,7%
Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	8,5/10
Релевантность ресурсов компаний «Автонет»	10/10

Источник: [133, 134]

Технологии частных сетей 5G имеют большой потенциал внедрения в России. Существующий запрос российских корпораций в создании гибко

[133] Private 5G Network Market Growth & Trends. URL: https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-private-5g-network-market
[134] Private 5G Network Market Growth & Trends. URL: https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-private-5g-network-market

управляемых и безопасных сетей связи с высокой скоростью передачи данных не удовлетворяется текущими предложениями на рынке. В данном контексте частные сети 5G могут предоставить корпорациям продвинутые возможности для реализации концепции межмашинных коммуникаций. В частности, частные сети могут быть реализованы в сфере логистики для управления коммуникациями складов, комплексов зданий, городской автотранспортной инфраструктуры.

Для построения частных 5G сетей могут быть использованы различные модели. В частности, могут быть использованы локальная частота 5G, лицензированная частота, публичная сеть. Учитывая относительно низкие темпы развертывания сетей 5G в России, наиболее перспективной моделью является создание изолированной локальной сети 5G. Данная модель имеет следующие особенности:

1. применяется лицензированная частота, принадлежащая оператору мобильной связи. В данном случае стоимость запуска частной сети не является такой же дорогой, как в случае развертывания сети на локальной частоте. Но существует зависимость от сети мобильного оператора, т.к. в случае сбоя в работе в сети оператора произойдет также сбой в частной сети;
2. построенная сеть 5G является полностью частной. Это обеспечивает высокую безопасность сети, т.к. сеть физически отделена от публичной сети. Через такую частную сеть могут передаваться конфиденциальные данные без риска неправомерного доступа. Данные также хранятся на серверах компании;
3. операторы мобильной связи повышают эффективность эксплуатации сетей 5G за счет использования выделенной частоты по нескольким направлениям (публичная сеть и частная сеть). Данные сети являются изолированными друг от друга.

В России уже запущены тестовые проекты по запуску частных 5G сетей. Тем не менее, число проектов составляет менее 5, что в потенциале не позволит полностью удовлетворить спрос на частные сети со стороны корпораций.

Среди наиболее перспективных проектов по запуску частных 5G сетей в России можно выделить[135]:

- тестирование сети мобильной связи 5G на руднике «Скалистый» в Норильске. Данное тестирование является международным проектом и реализовывалось АО «Норильский никель», АО «МТС», АО «Мегафон», Tele2, Nokia, Ericsson и Huawei. Проект был анонсирован в апреле 2021 года;
- тестирование сети 5G специалистами «Сколтеха» и платформы «Национальной технологической инициативы». Сеть будет запущена на частоте 4,8-4,99 ГГц и будет работь на основе отечественного оборудования. Проект был анонсирован в октябре 2021 года.

Разработка оборудования для реализации технологии NB-IoT в России.

Таблица 4.3. Характеристика рынка оборудования для реализации технологии NB-IoT в России

Характеристика рынка	Значение
Размер рынка к 2026 году	1,2 млрд. долл.
Средние темпы роста (CAGR) рынка в 2021-2026 гг.	32,8%
Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	10/10
Релевантность ресурсов компаний «Автонет»	7/10

Источник: [136, 137]

[135] Новые практики применения технологии 5G в мире. URL: https://ict.moscow/static/pdf/files/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8%205G%202021_fin_1.0_0.pdf

[136] Narrowband IoT (NB-IoT). URL: https://www.marketresearch.com/Global-Industry-Analysts-v1039/Narrowband-IoT-NB-14408967/

[137] Narrowband IoT (NB-IoT). URL: https://www.marketresearch.com/Global-Industry-Analysts-v1039/Narrowband-IoT-NB-14408967/

NB-IoT является одной из наиболее перспективных технологий в сегменте LPWAN. Согласно существующим прогнозам, число подключений на основе NB-IoT будет доминировать в структуре LPWAN подключений на протяжении 2021-2023 гг. (43% в 2023 году).

Несмотря на то, что устройства, работающие в стандарте NB-IoT, имеют малый радиус передачи данных (до 10 км), высокая энергоэффективность позволяет обеспечивать стабильную и непрерывную связь в определенных районах умного города. Критическое значение в данном контексте имеет высокая работоспособность при высоком уровне шумов и способность работы на низких уровнях сигнала, что свойственно для стандарта NB-IoT.

Наиболее перспективными являются следующие рыночные ниши:

- RF-модули, обеспечивающие доступ устройства к сетям на основе стандарта NB-IoT. В частности, для полноценного функционирование необходима разработка микроконтроллера, платы, трансивера. Модули должны обладать мощностью до 25мВт, чтобы обеспечить надежную передачу данных. Данные модули являются технологической основой для развертывания сетей на основе NB-IoT;
- датчики оконечного оборудования, поддерживающего доступ к сетям на основе стандарта NB-IoT, а также оборудования, выполняющего функцию сбора данных с датчиков. Датчики обеспечивают непрерывный доступ устройств к сетям на основе стандарта NB-IoT;
- программное обеспечение, необходимое для функционирования NB-IoT. Для практического внедрения стандарта NB-IoT в российских городах необходимо адаптированное программное обеспечение, в рамках которого будет происходить генерирование сигнала связи с модулем базовой станции. Существующая инфраструктура мобильной сети связи в большинстве российских городов позволяет внедрение оборудования для работы со стандартом NB-IoT. При этом передача

сигнала должна быть защищена криптографическими методами для обеспечения высокого уровня безопасности связи.

Разработка микросхем Wi-Fi 6, а также программного обеспечения для роутеров и точек доступа.

Таблица 4.4. Характеристика рынка микросхем Wi-Fi 6

Характеристика рынка	Значение
Размер рынка к 2026 году	43,65 млрд. долл.
Средние темпы роста (CAGR) рынка в 2021-2026 гг.	35%
Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	9/10
Релевантность ресурсов компаний «Автонет»	7/10

Источник: [138, 139]

Разработка и производство отечественных микросхем Wi-Fi 6 является одной из самых привлекательных ниш на рынке нового поколения технологий связи. Проведенный анализ показал, что эта рыночная ниша вырастет на 85% в 2020 году и на 35% в 2023 году, а ее глобальный объем составит 40,95 млрд. долл. в 2025 году.

В первую очередь, перспективным направлением являются системы на кристалле (англ. System on a chip, SoC). Данные системы представляют собой электронные схемы, которые позволяют размещать сразу несколько функциональных систем на одном чипе. SoC включает в себя процессорное ядро, а также интерфейсы и контроллеры, типичные для персональных компьютеров.

Исследователи ожидают, что системы на кристалле в будущем заменят микропроцессоры, что связано с возможностью объединения различных

[138] Grand View Research. Wi-Fi 6 chipset market. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wi-fi-6-wi-fi-6e-chipset-market-report

[139] Grand View Research. Wi-Fi 6 chipset market. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wi-fi-6-wi-fi-6e-chipset-market-report

функциональных блоков в рамках одного чипа[140]. Разработка данного аппаратного решения является особо перспективной в перспективе 2022-2025 гг.

Другой перспективной рыночной нишей является разработка программного обеспечения для роутеров и точек доступа к сетям Wi-Fi 6. Без подобного программного обеспечения будет невозможно надежное и безопасное подключение устройств умного города (в том числе транспортных устройств) к сетям Wi-Fi 6.

Важно отметить, что в условиях действия стратегии по импортозамещению иностранного программного обеспечения и в целях обеспечения интересов национальной безопасности разработка программного обеспечения отечественными игроками является особо актуальной задачей.

Разработка комплексных решений для применения Bluetooth с низким энергопотреблением.

Таблица 4.5. Характеристика рынка Bluetooth с низким энергопотреблением

Характеристика рынка	Значение
Размер рынка к 2026 году	13,7 млрд. долл.
Средние темпы роста (CAGR) рынка в 2021-2026 гг.	19,7%
Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	9/10
Релевантность ресурсов компаний «Автонет»	7/10

Источник: [141, 142]

Проведенный анализ в Главе 2 показал, что Bluetooth с низким энергопотреблением является одной из наиболее востребованных технологий в сфере интернета вещей. Также данная технология находит широкое

[140] Сурков А. В. Самосинхронные сопроцессоры конвейерного типа для экстремальных условий эксплуатации : дис. – Нац. исслед. ун-т МЭИ, 2016.
[141] Bluetooth Low Energy Market Overview. URL: https://www.industryarc.com/Report/187/bluetooth-smart-market-forecast.html
[142] Bluetooth Low Energy Market Overview. URL: https://www.industryarc.com/Report/187/bluetooth-smart-market-forecast.html

применение в автономном транспорте и моделях V2X. Например, модуль DSRC (IEEE802.11p), разработанный Alps Alpine, используется для обеспечения обмена данными между транспортными средствами.

Главное преимущество технологии Bluetooth с низким энергопотреблением – это возможность обеспечить устойчивую передачу данных между устройствами на относительно небольшом расстоянии при потреблении минимальной энергии (от 0,01 Вт до 0,5 Вт). Именно Bluetooth с низким энергопотребление должен стать самым быстрорастущим сегментом глобального рынка чипсетов Bluetooth на протяжении 2022-2030 гг. со средним темпом роста в 19,7% в год и объемом рынка 16,7 млрд. долларов к 2026 году[143].

В данном контексте перспективной нишей является разработка микросхем, датчиков и программного обеспечения на основе спецификации Bluetooth с низком энергопотреблением. Среди данных процессов наиболее оптимальным направлением является разработка программного обеспечения для проектов, включающих Bluetooth с низким энергопотреблением, т.к. аппаратное обеспечение приближается к зрелой стадии развития в мире. Но также важно отметить, что в России существует отставание в разработке аппаратного обеспечения для Bluetooth с низким энергопотреблением, поэтому разработка аппаратных решений в этой области также является перспективной.

Разработка оборудования Li-Fi.

Таблица 4.6. Характеристика рынка Li-Fi

Характеристика рынка	Значение
Размер рынка к 2026 году	4,2 млрд. долл.
Средние темпы роста (CAGR) рынка в 2021-2026 гг.	69,7%

[143] Bluetooth Low Energy Market Overview. URL: https://www.industryarc.com/Report/187/bluetooth-smart-market-forecast.html

Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	10/10
Релевантность ресурсов компаний «Автонет»	8/10

Источник: [144, 145]

Рынок технологии Li-Fi является одним из наиболее растущих в сегменте WLAN технологий. Среднегодовой темп роста рынка прогнозируется в 69,7% на протяжении 2021-2026 гг. Важным аспектом данной технологии является широкое применение в транспортной инфраструктуре города. Так, Li-Fi позволяет сформировать систему оповещения на дороге за счет управления освещением, отражающими элементами и светофорами. Главными преимуществами технологии Li-Fi являются высокая скорость передачи данных и низкая задержка.

Рыночная ниша в разработке оборудования Li-Fi является достаточно перспективной. Ряд проектов, поддерживаемых фондом «Сколково» уже реализуется некоторые проекты в этой сфере, поэтому возможны совместные разработки аппаратного обеспечения. Наиболее важными устройствами являются приемник Li-Fi и светодиодная система освещения (маршрутизатор Li-Fi).

Разработка программного обеспечения для мультифункциональной системы спутникового Интернета вещей.

Таблица 4.7. Характеристика рынка программного обеспечения для мультифункциональной системы спутникового Интернета вещей

Характеристика рынка	Значение
Размер рынка к 2026 году	5,9 млрд. долл.
Средние темпы роста (CAGR) рынка в 2021-2026 гг.	35,8%

[144] Li-Fi Market - Growth, Trends, Covid-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026). URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/li-fi-market
[145] Li-Fi Market - Growth, Trends, Covid-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026). URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/li-fi-market

Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	8/10
Релевантность ресурсов компаний «Автонет»	8/10

Источник: [146, 147]

Технологии спутниковой связи являются относительно развитыми в России. Одним из наиболее перспективных направлений в данном сегменте является разработка программного обеспечения для адаптации технологий LPWAN для работы в спутниковой сети. За счет адаптации обеспечивается формирование спутниковых сетей интернета вещей, создающих прямой доступ к оконечным устройствам.

Также достаточно перспективными рыночными нишами являются разработка абонентских устройств LPWAN для спутниковых сетей.

Сегменты WPAN и WBAN, по нашему мнению, содержат менее перспективные рыночные ниши для компаний Национальной технологической инициативы «Автонет». Во-первых, размеры данных рынков являются относительно небольшими, что ограничивает возможности получения эффекта синергии и мультипликационного эффекта для национальной экономики. Во-вторых, наиболее масштабные технологии являются достаточно развитыми в России. В частности, RDIF, технология автоматической идентификации и сбора данных на основе электромагнитной или индуктивной связи, находится на зрелом стадии развития в России, существуют готовые решения, которые прошли стадию тестирования и пилотного запуска. Поэтому данная рыночная ниша не рассматривается нами в качестве наиболее перспективной для компаний Национальной

[146] Satellite IoT market to reach $5.9bn by 2025. URL: https://www.electronicspecifier.com/products/communications/satellite-iot-market-to-reach-5-9bn-by-2025

[147] Global Satellite IoT Communications Market to 2025. URL: https://finance.yahoo.com/news/global-satellite-iot-communications-market-102800736.html

технологической инициативы «Автонет» в среднесрочной и долгосрочной перспективах.

Выявленные перспективные рыночные ниши для компаний Национальной технологической инициативы «Автонет» систематизированы в таблице ниже.

Таблица 4.8. Перспективные рыночные ниши для компаний Национальной технологической инициативы «Автонет»

	Размер рынка через 4-6 лет	Средние темпы роста рынка в среднесрочной перспективе (4-6 лет)	Функционал внедрения в сфере транспорта и логистики	Релевантность ресурсов компаний «Автонет»
Развертывание сетей 5G на крайне высокий частотах.	75,2 млрд. долл.	43%	9	9
Частные сети 5G.	14,28	39,70%	8,5	10
Разработка оборудования для реализации технологии NB-IoT в России.	1,2	32,80%	10	7
Разработка микросхем Wi-Fi 6, а также программного обеспечения для роутеров и точек доступа.	43,65	35%	9	7
Разработка комплексных решений для применения Bluetooth с низким энергопотреблением.	13,7	19,70%	9	7
Разработка оборудования Li-Fi.	4,2	69,70%	10	8
Разработка программного обеспечения для мультифункциональной системы спутникового Интернета вещей.	5,9	35,80%	8	8

4.2. Направления для преодоления технологических, экономических и социально-политических ограничений

4.2.1. Технологические ограничения

Важно рассмотреть, в первую очередь, технологические ограничения сетей 5G, т.к. они относятся к WWAN сетям и являются наиболее значимыми на уровне страны.

Высокая неоднородность и многокомпонентность архитектуры сетей 5G создают существенные технологические ограничения при развитии технологий 5G и развертывании сетей пятого поколения национальными компаниями. Практическая реализация технологии ограничена возможностями текущих моделей и компонентов, которые доступны для отечественных компаний. При этом для России характерно отставание темпов развертывания сетей 5G от Северной Америки, Западной Европы и стран АТР, что связано с законодательными барьерами, инфраструктурными ограничениями, дефицитом компетенций и другими факторами. В таких условиях развитие технологических решений в области сетей 5G в России затруднено, обеспечение конкурентоспособности в ряде рыночных ниш (частные 5G сети, сети 5G на крайне высоких частотах) также связано с технологическими сложностями (в частности, отсутствие проверенного собственного оборудования[148]).

Для остальных сегментов рынка нового поколения технологий связи характерны следующие ограничения:

1. дефицит располагаемых инновационных технологий;
2. нехватка опыта реализации инновационных проектов, в результате чего время запуска новых сетей возрастает.

Преодоление технологических ограничений возможно в результате реализации следующих направлений:

[148] Вне зоны доступа 5G в России под угрозой. Почему развернуть сети в стране оказалось так сложно и дорого? URL: https://lenta.ru/articles/2020/11/21/5g/

1. создание экосистемы инноваций для масштабного развертываний публичных сетей 5G совместно с другими сетями (в частности, с частными сетями 5G). Существенную роль в процессе создания экосистемы инноваций играет государство, но крупные корпорации могут самостоятельно развивать корпоративные экосистемы, как это показывает успешный опыт «Сбербанка» и «Яндекса». Развитие экосистем позволяет улучшить качество услуг связи, снизить средние издержки услуг, предложить комплексные услуги;
2. реализация стратегии развития международных проектов. Данная стратегия является наиболее оптимальной для разработки технологических решений в сегментах WWAN, LPWAN, WLAN. Российские компании могут использовать наработки лидеров рынка для сокращения времени реализации своих проектов. В первую очередь это касается частных сетей 5G, то также международное сотрудничество актуально для разработки оборудования в сфере технологии Wi-Fi 6, а также для технологии Li-Fi;
3. проведение активной патентной политики в приоритетных рыночных нишах. Компании должны использовать патентирование как инструмент для обеспечения защиты интеллектуальных активов в условиях высокой конкуренции. Наибольшая актуальность этого инструмента характерна для технологий LPWAN, где у отечественных компаний уже есть инновационные решения.

4.2.2. Экономические ограничения

Высокие затраты на развертывание сетей 5G являются одним из главных экономических ограничений нового поколения технологий связи в России.

Архитектура данных сетей характеризуется высокой степенью неоднородности и гибкости. По этой причине фактическая стоимость сетей будет зависеть от большего числа факторов по сравнению с сетями 4G. Кроме традиционных факторов, таких как параметры пропускной способности сети, площадь покрытия, скорость передачи данных, важную роль играют и новые факторы. В частности, это гибкость сети 5G (например, возможность применения программно-реализованных сетей), применяемая модель владения сетью (уровень изолированности сети).

В качестве главного направления для преодоления данного ограничения можно выделить выбор диапазон достаточно высокой частотности для сетей 5G. В высокочастотных диапазонах стоимость гигабайта трафика оценивается дешевле, чем для диапазонов низкой частотности[149].

Также важным направлением преодоления экономических ограничений является применение более гибких моделей владения сетью. Операторы мобильной связи могут повысить эффективность эксплуатации сети 5G за счет моделей совместного использования. Например, операторы могут совмещать частные и публичные сети 5G в рамках одной инфраструктуры по следующим моделям:

1. изолированная локальная частная сеть 5G на лицензированной частоте;
2. совместное использование сетей радиодоступа (англ. Radio Access Network - RAN) между частной сетью и публичной сетью;
3. RAN и плоскость совместного управления (англ. Control Plane Sharing) между частной и публичной сетями;
4. RAN и сквозная «нарезка» сетевых ресурсов (англ. End-to-End Network Slicing) между частной и общедоступной сетями.

Среди экономических ограничений для других технологий нового поколения связи можно выделить:

[149] https://digital.ac.gov.ru/upload/iblock/2b2/22701%205G%20Russia%20report%20(RUSSIAN).pdf

1. дефицит финансовый ресурсов в условиях низких темпов роста экономики России и стагнации платежеспособного спроса;
2. риск низкой окупаемости бизнес-моделей по причине наличия инновационных рисков проектов.

Для преодоления данных ограничений рекомендуется внедрение подходов к определению эффективности современных бизнес-моделей и продуктов, за счет чего будут обеспечиваться контроль над эффективностью различных проектов и отбор наиболее эффективных проектов. Рекомендации по внедрению данных подходов содержатся в п. 4.3.

4.2.3. Социально-политические ограничения

Главным политическим ограничением для развития сетей 5G в России является отсутствие доступа к необходимым диапазонам частот. В частности, у операторов нет доступа к диапазону частот более 30 ГГц для развертывания более производительных сетей 5G. Вопрос выделения диапазона частот под 5G сети является одним из ключевых для текущего этапа развития технологии сетей 5G в России. Недоступность приоритетных радиочастотных диапазонов не позволит достичь масштабного развертывания сетей 5G в стране.

Для снятия данного ограничения необходима разработка прозрачной политики по управлению частотами, которая включает пошаговый план по освобождению определенных диапазонов. Можно выделить три приоритетные группы частот:

1. частоты ниже 1 ГГц. Данный диапазон играет важную роль для обеспечения широкого покрытия сетями 5G в городе. Несмотря на то, что процесс скоростной передачи данных в рамках такого диапазона не является наиболее эффективным, широкое покрытие является необходимым условием для запуска городских транспортных проектов на основе технологий Интернета вещей;

2. диапазон 1-6 ГГц. Этот диапазон представляет собой компромиссный вариант, балансирующий между высокой скоростью передачи данных и широтой охвата сети;
3. частоты выше 6 ГГц. Данный диапазон поддерживает сверхвысокие скорости и обеспечивает эффективную передачи данных. Недостатком диапазона 1-6 ГГц является ограниченность относительно небольшими территориями, что снижает масштаб покрытия сети.

Наиболее оптимальный с точки зрения охвата и скорости передачи данных по сетям 5G диапазон частот 3,4-3,8 ГГц в России недоступен для операторов связи. Кроме того, большинство зарубежных технологических решений ориентировано именно на этот диапазон частот, поэтому существуют ограничения на применение международного опыта при развитии сетей 5G в России. Правительство Российской Федерации не рассматривает возможность освобождения данного диапазона[150].

В настоящее время правительство планирует эксплуатацию диапазона 4,7-4,9 ГГц[151]. В мае 2021 года правительство Российской Федерации утвердило использование диапазона 24,25-25,25 ГГц для 5G сетей[152]. Дальнейшее освобождение диапазонов частот будет положительно сказываться на перспективы развития технологии сетей 5G в России, но в данном процессе важно вовлечение государственных и негосударственных участников рынка для совместного обсуждения и поиска оптимального решения.

Другим важным политическим ограничением является наличие строгих регулятивных правил в сфере запуска сетей 5G. Правила, действующие для

[150] В России определились с судьбой «золотого диапазона» частот для 5G. URL: https://secretmag.ru/news/v-rossii-opredelilis-s-sudboi-zolotogo-diapazona-chastot-dlya-5g.htm
[151] Диапазон нашёлся: 5G в России будет работать на частотах 4,7–4,9 ГГц. URL: https://3dnews.ru/1023056/diapazon-nashyolsya-5g-v-rossii-budet-rabotat-na-chastotah-4749-ggts
[152] Правительство утвердило использование радиочастот 24 ГГц для сетей 5G. URL: https://www.interfax.ru/russia/765026

процесса запуска сетей предыдущих поколений, не учитывают специфические особенности технологии сетей 5G (неоднородность и гибкость архитектуры, многокомпонентность решений и др.). Высокая роль автоматизации в запуске сетей 5G является одной из таких особенностей. В то же время автоматизация не может быть полноценно реализована по причине строгих процедур, определяемых регулятивными органами.

Направлением для преодоления данного ограничения является упрощение административных процессов и процедур для компаний, занимающихся развертыванием сетей 5G в России. В частности, это касается процедур оформления участков земли под инфраструктуру, правил применения технологий автоматизации, выдачи разрешений на строительство, регламент доступа к государственным инфраструктурным объектам.

Также важно отметить и фактор социального напряжения по поводу распространения сетей 5G. В России в 2020-2021 гг. проходили массовые протесты против запуска сетей 5G – в частности, во Владикавказе и Махачкале[153]. Беспокойство населения касается негативного воздействия излучения на организм.

Для преодоления данного ограничения можно выделить 2 основных направлений действий:

1. применение современных антенных систем при одновременном расширении санитарно-эпидемиологических норм, регламентирующих оборудование на базовых станциях. Текущие нормы ограничивают внедрение инновационного оборудования, которое имеет минимальное негативное воздействие на окружающую среду. В данном контексте более актуальными являются нормы Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения;

[153] Россию охватили массовые протесты против 5G. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-04-14_rossiyu_ohvatili_massovye

2. реализация PR кампании, объясняющей механизм работы сетей 5G и особенности воздействия сетей на организм человека. Обучение может помочь минимизировать негативное социальное воздействие противников сетей 5G.

Направления для преодоления технологических, экономических и социально-политических ограничений при развитии технологий нового поколения связи систематизированы в таблице ниже.

Таблица 4.9. Направления для преодоления технологических, экономических и социально-политических ограничений

Ограничения	Направления для преодоления
Высокая неоднородность и многокомпонентность архитектуры сетей 5G Дефицит располагаемых инновационных технологий Нехватка опыта реализации инновационных проектов, в результате чего время запуска новых сетей возрастает	1. Создание экосистемы инноваций для масштабного развертываний публичных сетей 5G совместно с другими сетями (в частности, с частными сетями 5G) 2. Реализация стратегии развития международных проектов 3. Проведение активной патентной политики в приоритетных рыночных нишах
Высокие затраты на развертывание сетей 5G	4. Выбор диапазон достаточно высокой частотности для сетей 5G 5. Применение более гибких моделей владения сетью

Дефицит финансовый ресурсов в условиях низких темпов роста экономики России и стагнации платежеспособного спроса Риск низкой окупаемости бизнес-моделей по причине наличия инновационных рисков проектов	6. Внедрение подходов к более точному определению эффективности современных бизнес-моделей и продуктов
Отсутствие доступа к необходимым диапазонам частот	7. Разработка прозрачной политики по управлению частотами с пошаговым планом по освобождению определенных диапазонов
Наличие строгих регулятивных правил в сфере запуска сетей 5G	8. Упрощение административных процессов: – процедур оформления участков земли под инфраструктуру; – правил применения технологий автоматизации; – выдачи разрешений на строительство; – регламент доступа к государственным инфраструктурным объектам
Социальное напряжение по поводу распространения сетей 5G	9. Внедрение современных антенных систем при одновременном расширении санитарно-эпидемиологических норм, регламентирующих оборудование на базовых станциях 10. Реализация PR кампании, объясняющей механизм работы сетей 5G

4.3. Рекомендация по внедрению подходов к определению эффективности современных бизнес-моделей и продуктов

Развитие нового поколения технологий связи включает в себя разработку и внедрение инновационных бизнес-моделей и продуктов.

Специфика инновационной деятельности и высокий уровень риска определяют необходимость внедрения актуальных подходов к определению эффективности таких бизнес-моделей и продуктов.

Важно определить понятие бизнес-модели. Под бизнес-моделью понимается совокупность бизнес-процессов, в рамках которых происходит создание добавленной стоимости[154]. При этом ключевую роль играет консенсус интересов стейкхолдеров компании, данный консенсус определяет целевые ориентиры бизнес-модели.

Можно сформировать ряд рекомендаций по поводу внедрения наиболее подходящих методик к анализу эффективности бизнес-моделей при разработке решений в сфере технологий нового поколения связи на российском рынке:

1. обязательное применение сценарного анализа при моделировании бизнес-модели. Сценарный анализ позволяет повысить качество принятия решений в условиях неопределенности;
2. внедрение контроллингового подхода к построению бизнес-модели. Данный подход подразумевает расчет и мониторинг показателей эффективности бизнес-модели для каждой группы стейкхолдеров. Анализ проводится на основе двух формул: расчета интегрального показателя эффективности (1) и оценка уровня существенности стейкхолдерского риска (2)[155]:

$$K_j = \sum A_{ij} * KPI_{ij}$$

$$R_{st} = \frac{maxK_j - minK_j}{maxK_j}$$

[154] Степнов И. М., Ковальчук Ю. А. Цифровая бизнес-модель: управление технологиями и контроль прибыли //Инновации в менеджменте. – 2020. – №. 3. – С. 68-79.
[155] Гавель О. Ю. Аналитические механизмы оценки эффективности бизнес-моделей //Вестник Академии. – 2017. – №. 2. – С. 45-48.

– где A – коэффициент существенности достижения цели i для группы стейкхолдеров j;
– KPI – ключевой показатель эффективности при достижении цели i для группы стейкхолдеров j;
– R_{st} – уровень существенности стейкхолдерского риска;
– $maxK_j$ – максимальное значение интегрального показателя эффективности для группы стейкхолдеров j;
– $minK_j$ – минимальное значение интегрального показателя эффективности для группы стейкхолдеров j.

При анализе эффективности продукта базовым подходом является метод дисконтированных потоков доходов (NPV). Модель NPV широко распространена при прогнозировании доходности проекта по разработке нового продукта. Данный подход применяется при анализе проектов, продуктов, бизнес-моделей, процессов. Тем не менее, продукты на рынке нового поколения технологий связи имеют специфику инновационных продуктов, поэтому традиционный метод NPV не является пригодным для анализа.

Можно порекомендовать несколько методов, которые могут быть применены к анализу эффективности продуктов на рынке нового поколения технологий связи:

1. метод реальных опционов. Данный метод позволяет учитывать неопределенность, что дает более точную оценку рыночной окупаемости инновационного продукта. Этот метод является альтернативой традиционному подходу расчета NPV. Для использования метода реальных опционов необходимы прогнозные расчеты доходов и расходов, связанных с реализацией продукта, параметры конъюнктуры на рынке, параметры аналогичных продуктов;

2. метод нечетко-множественных описаний. Данный метод является продвинутым подходом к оценке проектов, при этом данный подход является релевантным для анализа специфических инновационных рисков[156]. Метод нечетко-множественных описаний является достаточно эффективным при анализе нескольких альтернатив в условиях внутренней и внешней неопределенности;
3. внедрение методов имитационного моделирования для построения более точных проектов бизнес-моделей. Данные методы используют элементы искусственного интеллекта и учитывают сложную структуру разработки инновационных продуктов[157].

Применение представленных подходов может быть осуществлено в комплексе, т.к. сравнение результатов различных моделей даст больше информации для принятия решения о запуске продукта.

[156] Чертина Е. В., Квятковская И. Ю. Комплексная количественная оценка инновационных ИТ-проектов на основе нечетко-множественных описаний //Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – №. 1. – С. 50-62.
[157] Звягин Л. С. Технология управления и исследования моделей сложных инновационных систем предприятий средствами имитационного моделирования //Экономика и управление: проблемы, решения. – 2019. – Т. 1. – №. 2. – С. 95-105.

Список использованных источников

1. Атлас сквозных цифровых технологий России. URL: https://ict.moscow/research/atlas-skvoznyh-cifrovyh-tehnologiy-rossii/
2. В России определились с судьбой «золотого диапазона» частот для 5G. URL: https://secretmag.ru/news/v-rossii-opredelilis-s-sudboi-zolotogo-diapazona-chastot-dlya-5g.htm
3. Гавель О. Ю. Аналитические механизмы оценки эффективности бизнес-моделей //Вестник Академии. – 2017. – №. 2. – С. 45-48.
4. ГОСТ Р МЭК 62657-2-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Сети промышленной коммуникации. Беспроволочные коммуникационные сети. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200135802
5. Диапазон нашёлся: 5G в России будет работать на частотах 4,7–4,9 ГГц. URL: https://3dnews.ru/1023056/diapazon-nashyolsya-5g-v-rossii-budet-rabotat-na-chastotah-4749-ggts
6. Звягин Л. С. Технология управления и исследования моделей сложных инновационных систем предприятий средствами имитационного моделирования //Экономика и управление: проблемы, решения. – 2019. – Т. 1. – №. 2. – С. 95-105.
7. МТС и Huawei подписали соглашение о развитии 5G в России. URL: https://moskva.mts.ru/about/media-centr/soobshheniya-kompanii/novosti-mts-v-rossii-i-mire/2019-06-05/mts-i-huawei-podpisali-soglashenie-o-razvitii-5g-v-rossii
8. Новые практики применения технологии 5G в мире. URL: https://ict.moscow/static/pdf/files/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8%205G%202021_fin_1.0_0.pdf

9. Правительство утвердило использование радиочастот 24 ГГц для сетей 5G. URL: https://www.interfax.ru/russia/765026
10. Публичный Wi-Fi доступ в России: итоги 2020 года. TMT Консалтинг. URL: http://tmt-consulting.ru/wp-content/uploads/2021/04/%D0%A2%D0%9C%D0%A2-%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3-Wi-Fi-2020-1.pdf
11. Развитие 5G в России и мире: взгляд в будущее. URL: https://digital.ac.gov.ru/upload/iblock/2b2/22701%205G%20Russia%20report%20(RUSSIAN).pdf
12. Россию охватили массовые протесты против 5G. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-04-14_rossiyu_ohvatili_massovye
13. Сиагри Р. Основы архитектуры «Интернета вещей» / Control Engineering Россия. – 2017. – №. 4. – С. 88-91.
14. Степнов И. М., Ковальчук Ю. А. Цифровая бизнес-модель: управление технологиями и контроль прибыли //Инновации в менеджменте. – 2020. – №. 3. – С. 68-79.
15. Сурков А. В. Самосинхронные сопроцессоры конвейерного типа для экстремальных условий эксплуатации : дис. – Нац. исслед. ун-т МЭИ, 2016.
16. Технические характеристики 5G. Сравнение 4G и 5G. URL: http://1234g.ru/5g/tekhnicheskie-kharakteristiki-5g
17. Чертина Е. В., Квятковская И. Ю. Комплексная количественная оценка инновационных ИТ-проектов на основе нечетко-множественных описаний //Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – №. 1. – С. 50-62.
18. 5G в России Перспективы, подходы к развитию стандарта и сетей. URL: https://www.pwc.ru/ru/assets/5g-research.pdf

19. Alavi, A. H., Jiao, P., Buttlar, W. G., & Lajnef, N. Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. Measurement, 129, 2018, 589-606.
20. Automotive V2X Market Statistics. URL: https://www.alliedmarketresearch.com/automotive-v2x-market-A07120
21. Automotive V2X Market. Fortune Business Insights. URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/automotive-v2x-market-103320
22. Automotive V2X Market. Markets and Markets. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-vehicle-to-everything-v2x-market-90013236.html
23. Bain. Global M&A Report 2021. URL: https://www.bain.com/globalassets/noindex/2021/bain_report_global_m_and_a_report_2021.pdf
24. Bareta D. S., Muniz G. Conceptual Model for the Explanation of the Phenomenon of Radical Innovation in the Disruption of the Internet of Things, on scales of Smart Objects, Homes and Cities //Applications for Future Internet. – Springer, Cham, 2017. – С. 103-108.
25. Bhandari H., Devkota B. Next generation of wireless networks: Wi-Fi 6 and 5G. – 2020.
26. Bluetooth Low Energy Market Overview. URL: https://www.industryarc.com/Report/187/bluetooth-smart-market-forecast.html
27. Bluetooth Market Update. URL: https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2021/01/2021-Bluetooth_Market_Update.pdf
28. Chowdhury F. Blended learning: how to flip the classroom at HEIs in Bangladesh? //Journal of Research in Innovative Teaching & Learning. – 2019.

29. Crunchbase: официальный сайт. URL: crunchbase.com
30. Data Intelo. Mobile WiMax Market Analysis. URL: https://dataintelo.com/report/mobile-wimax-market/
31. Ericsson Mobility Report 2021. URL: https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/june-2021
32. Ericsson. Enhancing Rural Connectivity Through Green Energy Solutions. URL: https://www.ericsson.com/en/blog/2020/10/enhancing-rural-connectivity-through-green-energy-solutions
33. Ericsson: Contracts. URL: https://www.ericsson.com/en/5g/contracts
34. Fact Mr. Massive MIMO Market. Rising Adoption of 5G technology and High Penetration of Internet to Spur the Demand for Massive MIMO during 2021-2031. URL: https://www.factmr.com/report/massive-mimo-market
35. Gartner Hype-cycle 2019. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019
36. Gartner Hype-cycle 2020. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020
37. Gartner Hype-cycle 2021. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-themes-surface-in-the-2021-hype-cycle-for-emerging-technologies
38. Global Autonomous Cars Market. Facts & Factors. URL: https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/08/06/2276438/0/en/At-22-7-CAGR-Global-Autonomous-Cars-Market-Share-Revenue-Expected-to-Reach-USD-64-88-Billion-by-2026-FnF-Research.html

39. Global Satellite IoT Communications Market to 2025. URL: https://finance.yahoo.com/news/global-satellite-iot-communications-market-102800736.html
40. Grand View Research. Wi-Fi 6 chipset market. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wi-fi-6-wi-fi-6e-chipset-market-report
41. GSA catalogues over 150 deployments of Private LTE and 5G networks and spectrum worldwide. URL: https://www.totaltele.com/507561/GSA-catalogues-over-150-deployments-of-Private-LTE-and-5G-networks-and-spectrum-worldwide
42. GSMA Thrive: China Sets Its Eye On Millimeter Wave 5G. URL: https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/gsma-thrive-china-sets-its-eye-on-millimeter-wave-5g
43. GSMA. Mobile Economy Report 2021. URL: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2021/07/GSMA_MobileEconomy2021_3.pdf
44. Hakeem S. A. A., Hady A. A., Kim H. W. 5G-V2X: Standardization, architecture, use cases, network-slicing, and edge-computing //Wireless Networks. – 2020. – Т. 26. – №. 8. – С. 6015-6041.
45. Huawei. Green 5G Building a Sustainable World. URL: https://www.huawei.com/en/public-policy/green-5g-building-a-sustainable-world
46. Hype Cycle for the Internet of Things. URL: https://www.gartner.com/en/documents/3987602/hype-cycle-for-the-internet-of-things-2020

47. IDC. 5G Wireless: Market Size and Forecasts. URL: https://informationmatters.net/wp-content/uploads/2020/03/5G-Market-Size-Forecasts.pdf
48. IMD. World Digital Competitiveness Ranking. URL: https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness/
49. IMF Statistics. URL: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/10/12/world-economic-outlook-october-2021
50. India Approves Facebook's 5-7 billion Deal With Reliance Jio Platforms. URL: https://techcrunch.com/2020/06/24/india-approves-facebooks-5-7-billion-deal-with-reliance-jio-platforms/
51. Industrial Bluetooth Market Report - Global Forecast To 2028. URL: https://dataintelo.com/report/global-industrial-bluetooth-market/
52. Industry ARC. LiFi Market Analysis. URL: https://www.industryarc.com/Report/15025/LiFi-market.html
53. ITU statistics. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf
54. ITU. Proceedings of ITU-T Kaleidoscope 2010: Beyond the Internet? - Innovations for future networks and services. URL: https://www.itu.int/pub/T-PROC-KALEI-2010
55. ITU. Trends in telecommunication regulatory incentives to achieve digital opportunities. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-TTR.17-2016-PDF-E.pdf
56. ITU. Trends in telecommunication regulatory incentives to achieve digital opportunities. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-TTR.17-2016-PDF-E.pdf
57. Japan's NTT to spend $38B to buy out. URL: https://www.washingtonpost.com/business/reports-phone-giant-ntt-

plans-to-take-over-delist-docomo/2020/09/28/7b0b87a8-0205-11eb-b92e-029676f9ebec_story.html

58. Jebbar, Y., Promwongsa, N., Belqasmi, F., & Glitho, R. H. A Case Study on the Deployment of a Tactile Internet Application in a Hybrid Cloud, Edge, and Mobile Ad Hoc Cloud Environment. IEEE Systems Journal. 2021
59. Li-Fi Market - Growth, Trends, Covid-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026). URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/li-fi-market
60. LinkNYC (CityBridge) Crosses $200+ Million Investment. URL: https://oohtoday.com/linknyc-citybridge-crosses-200-million-investment/
61. Liu, Y., Tong, K., Mao, F., & Yang, J. Research on digital production technology for traditional manufacturing enterprises based on industrial Internet of Things in 5G era. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 107(3), 2020, 1101-1114.
62. Malandra, F., Rochefort, S., Potvin, P., & Sansò, B. A case study for M2M traffic characterization in a smart city environment. In Proceedings of the 1st International Conference on Internet of Things and Machine Learning (pp. 1-9). 2017
63. Mankins J.C. (1995) Technology readiness levels / Advanced Concepts Office of Space Access and Technology. https://www.colorado.edu/ASEN/asen3036/TECHNOLOGYREADINESSLEVELS.pdf
64. Market Research Future. Global WLAN Market Research Report- By component (controller, router, switch, AP), By technology standards (802.11a/b/g, 802.11n, 802.11ac). URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/wlan-market-1012

65. Mathew, V., Toby, T., Singh, V., Rao, B. M., & Kumar, M. G. (2017, December). Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of turbofan engine using machine learning. In 2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS) (pp. 306-311). IEEE, 2017
66. McKinsey. The 5G era. New horizons for advanced electronics and industrial companies. URL: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/advanced%20electronics/our%20insights/the%205g%20era%20new%20horizons%20for%20advanced%20electronics%20and%20industrial%20companies/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies.pdf
67. Mobile Connectivity Index. URL: https://www.mobileconnectivityindex.com
68. Mordor Intelligence. 5G Infrastructure Market Analysis. URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/5g-infrastructure-market
69. Narrowband IoT (NB-IoT). URL: https://www.marketresearch.com/Global-Industry-Analysts-v1039/Narrowband-IoT-NB-14408967/
70. Nokia deploys Australia's first integrated 5G antenna with Optus. URL: https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2021/05/31/nokia-deploys-australias-first-integrated-5g-antenna-with-optus/
71. Private 5G Network Market Growth & Trends. URL: https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-private-5g-network-market
72. PwC. M&A Report 20211. URL: https://www.pwc.com/gx/en/services/deals/trends/2021/telecommunications-media-technology.html

73. Rak R., Kopencova D., Felcan M. Digital vehicle identity–Digital VIN in forensic and technical practice //Forensic Science International: Digital Investigation. – 2021. – T. 39. – C. 301-307.
74. Reuters. America Movil ready for 5G in Mexico, expects close of Tracfone sale. URL: https://www.reuters.com/business/media-telecom/america-movil-says-ready-launch-5g-mexico-plans-sell-tracfone-this-year-2021-10-20/
75. Satellite IoT market to reach $5.9bn by 2025. URL: https://www.electronicspecifier.com/products/communications/satellite-iot-market-to-reach-5-9bn-by-2025
76. Statista. Estimated average price of cellular data per gigabyte in the United States from 2018 to 2023. URL: https://www.statista.com/statistics/994913/average-cellular-data-price-per-gigabyte-in-the-us/
77. Statista. LPWAN IC Market Share. URL: https://www.statista.com/statistics/880822/lpwan-ic-market-share-by-technology/
78. Statista. Smart Devices Revenue. URL: https://www.statista.com/outlook/dmo/smart-home/worldwide#revenue
79. Statista: Enterprise WLAN Market Size. URL: https://www.statista.com/statistics/1136752/enterprise-wlan-market-size-2017-2019/
80. Szalavetz A. Digital entrepreneurs in factory economies. – 2020.
81. Temur G. T., Bolat H. B., Gözlü S. Evaluation of industry 4.0 readiness level: Cases from Turkey //The International Symposium for Production Research. – Springer, Cham, 2018. – C. 412-425.
82. The Internet of Things for Smart Cities. PwC Report. URL: https://www.pwc.ru/en/assets/iot-for-cities-eng.pdf

83. The Worldwide 5G mmWave Industry is Expected to Reach $75.2 Billion by 2026 at a CAGR of 43%. URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/the-worldwide-5g-mmwave-industry-is-expected-to-reach-75-2-billion-by-2026-at-a-cagr-of-43-301370356.html
84. Transparency Market Research. Bluetooth Chipset Market Analysis. URL: https://www.transparencymarketresearch.com/bluetooth-chipsets-market.html
85. Where is 5G heading (and how fast will it get there)? Molex Report. URL: https://experience.molex.com/electronic-solutions/telecommunications-insights/
86. Wi-Fi 6 к 2026 году может стать основной точкой доступа к Сети. URL: https://www.vedomosti.ru/gorod/smartcity/articles/wi-fi-6