

ОЦЕНКА БУДУЩЕГО ТРАФИКА от услуг сетей 5G

В.Тихвинский, д.э.н., академик РАЕН, профессор МТУСИ,
заместитель генерального директора
АО "НИИТС" по инновационным технологиям / vtiiir@mail.ru

УДК 621.391.1 / ВАК 05.12.13, DOI: 10.22184/2070-8963.2019.78.1.30.39

Рассмотрены стандартизованные МСЭ и Партнерским проектом 3GPP бизнес-модели и бизнес-сценарии услуг, определяющие формирование трафика в сетях связи пятого поколения (5G). Показаны отличия сценариев размещения РЭС сетей 5G, предложенные МСЭ, и 3GPP, сформулированные в Релизе 15 (фаза 1 развития 5G), которые влияют на величину прогнозируемого трафика. Приведены оценки плотности трафика на 1 кв. км для ключевых бизнес-сценариев 5G: ультраширокополосного видеоконтента eMBB и сверхнадежных услуг связи с минимальной задержкой uRLLC.

ВВЕДЕНИЕ

К основным факторам, стимулирующим предполагаемый рост объема трафика в сетях 5G, следует отнести более активное потребление услуг видеоконтента, в том числе с качеством 8K и 3D, услуг доступа к социальным сетям, а также быстрое распространение устройств и приложений uRLLC (сверхнадежная связь с низким уровнем задержки) для обеспечения услуг Интернета вещей (mIoT). Проявление этих факторов в сетях мобильной связи пятого поколения будет меняться со временем, а также зависеть от социально-экономической ситуации в конкретной стране или регионе.

Упомянутые стимулирующие трафик факторы и другие тенденции, влияющие на рост объема трафика, подробно отражены в отчете МСЭ-Р М.2370 [1] и отчетах ведущих вендоров [2-3]. Кроме указанных, существует еще множество факторов, стимулирующих рост потребления трафика в сетях IMT-2020/5G в будущем. К ним стоит отнести применение абонентских устройств 5G с улучшенными функциональными характеристиками, требующих повышения скорости передачи данных и расширения ширины используемых частотных каналов до 400 МГц. Аналогичные факторы послужили причиной роста объема трафика при переходе от сетей технологии 3G (IMT-2000) к 4G (LTE-Advanced).

Исследование вопросов формирования и обработки трафика в сетях 5G становится важной задачей для операторов мобильной связи и отраслевой науки.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ И БИЗНЕС-СЦЕНАРИЕВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФОРМИРОВАНИЕ ТРАФИКА В СЕТЯХ 5G

Величина потребляемого трафика в сетях 5G/IMT-2020 для различных услуг и отраслей экономики определяется целым рядом факторов от которых зависит генерируемый и потребляемый в сети трафик, прежде всего таких как: площади зон покрытия базовых станций (БС) для различных сценариев размещения в зависимости от используемого диапазона частот, плотности размещения БС и абонентских станций (АС) для этих сценариев, генерируемый объем трафика от каждого абонентского устройства в зависимости от вида услуги и бизнес-моделей оказания услуг 5G в каждой из таких зон покрытия сети.

Бизнес-сценарии, определяющие формирование трафика в сетях 5G, характеризуются прежде всего сценариями размещения БС и АС и плотностью размещения этих РЭС для каждого из сценариев.

Опубликованные МСЭ сценарии развертывания РЭС сети 5G/IMT-2020 [4], определяющие трафик в сети, включают четыре полосы диапазона миллиметровых волн, охватывающих спектр 24,25-86 ГГц (24,25-33,4,

Таблица 1. Характеристики плотности развертывания РЭС сетей 5G

Сценарий установки РЭС/ характеристики сценария	Плотная городская застройка (Dense Urban)	Городская застройка (Urban)	Внутри зданий (Indoor)
	Микро БС	Макро БС/Микро БС	
Рекомендуемый диапазон частот, ГГц	30	30	30, 70
Расстояние между сайтами (ISD), м	200	500	20
Плотность установки: количество БС на км ² (трехсекторные)	3 приемо-передатчика TRxP на один макро TRxP	4,6	17,3 БС на площади 120 м x 50 м
Количество АС на км ²	100	30	Определяется типом здания (офис, жилое)

37–43,5, 45,5–52,6, 66–86 ГГц) и реализуют четыре сценария размещения:

- размещение БС и АС в зонах покрытия с высокой плотностью трафика на открытом пространстве в пригородной местности;
- размещение БС и АС в зонах покрытия на открытом пространстве в пригородной местности;
- размещение БС и АС в зонах покрытия на открытом пространстве в городе;
- размещение БС и АС в зонах покрытия внутри зданий.

Чтобы сравнить подходы к размещению РЭС сетей 5G, определенные МСЭ, и Партнерского проекта 3GPP, опубликованные в Релизе 15, целесообразно сравнивать данные для диапазонов миллиметровых волн (ММДВ): 30 и 70 ГГц. К сожалению, МСЭ не опубликовал данные о сценариях размещения РЭС в диапазонах ниже 6 ГГц, что не позволяет провести аналогичный сравнительный анализ для них.

Анализ сценариев 3GPP для диапазонов ММДВ показывает, что Партнерский проект определил три сценария размещения:

- размещение БС и АС в плотной городской застройке (близок к сценарию 1 МСЭ);
- размещение БС и АС в городских макросотах (близок к сценарию 3 МСЭ);
- размещение БС и АС внутри зданий (близок к сценарию 4 МСЭ).

Для решения задач планирования трафика в сетях 5G необходимо знать плотность размещения базовых и абонентских станций сети радиодоступа NG-RAN. Анализ сценариев размещения БС и АС, приведенных в технических спецификациях 3GPP серии 38.xxx, позволил сформировать характеристики плотности развертывания РЭС сетей 5G, приведенные в табл.1.

Кроме сценариев размещения, в ходе разработки и стандартизации требований для фазы 1 сетей 5G, были разработаны сценарии исследования трафика для различных бизнес-моделей.

Стандартизация бизнес-моделей трафика 5G для детальных исследований и соответствующие системные требования к ним определены в следующих технических спецификациях 3GPP:

- для бизнес-модели mMTC (massive Internet of Things) – в TS 22.861 [5];
- для бизнес-модели URLLC (Critical Communications) – в TS 22.862 [6];
- для бизнес-модели eMBB (enhanced Mobile Broadband) в TS 22.863 [7];
- для бизнес-модели NEMO (Network operations) – в TS 22.864 [8];
- Для бизнес-модели V2X (Vehicle Communication) – в TS 22.886 [9].

Спецификация TS 22.861 определила восемь исследуемых сценариев трафика для бизнес-модели массового применения устройств Интернета вещей (mIoT):

- сценарий трафика 1: Облегченная конфигурация абонентских устройств;
- сценарий трафика 2: Передача данных переменного размера;
- сценарий трафика 3: Безопасная передача Интернет-трафика;
- сценарий трафика 4: Сельскохозяйственная техника и ее лизинг;
- сценарий трафика 5: Одно устройство доступа для нескольких устройств IoT;
- сценарий трафика 6: Одно устройство IoT с несколькими пользователями услуг;
- сценарий трафика 7: Поддержка соединения со стороны поставщика услуг;
- сценарий трафика 8: Взаимодействие между устройствами различных вендоров.

Спецификация TS 22.862 определила пять исследуемых сценариев трафика для бизнес-модели URLLC:

- сценарий трафика 1: Автоматизация промышленного предприятия;
- сценарий трафика 2: Автоматизация промышленных процессов;

- сценарий трафика 3: Ультра-надежная связь;
- сценарий трафика 4: Речь, аудио и видео для услуг виртуальной и дополненной реальности.
- сценарий трафика 5: Локальное взаимодействие и взаимодействие с БПЛА (беспилотными летательными аппаратами).

Спецификация TS 22.863 определила семейство из четырех сценариев исследования трафика для бизнес-модели сверхширокополосного мобильного доступа eMBB – enhanced Mobile Broadband (рис.1). Их можно разделить на следующие:

- сценарий с высокой пропускной способностью (Higher Data Rates);
- сценарий с высокой плотностью абонентов (Higher Density);
- сценарий для широкого развертывания и покрытия (Deployment and Coverage);
- сценарий для абонентов с высокой мобильностью (Higher User Mobility).

Требования к сети 5G для режима eMBB определяют требования к услугам eMBB, которые должны обеспечивать:

- скорость передачи данных абонента до 1 Гбит/с в линии DL и 500 Мбит/с в линии UL;
- пиковую скорость передачи данных на пользователя на уровне 10 Гбит/с, когда абонент медленно движется (со скоростью до 10 км/ч);
- скорость передачи данных для взыскательного к качеству пользователя до 300 Мбит/с (например, видеопотоки, такие как UHD 4K или 8K);
- не менее 15 широкоэмиттерных каналов со скоростью 20 Мбит/с каждый одновременно на одной и той же несущей;
- сквозную задержку 10–12 мс (туда-обратно), включая кодирование/декодирование, и обеспечивать полосу пропускания, способную

поддерживать потоковую передачу 8K для 3D-видео со скоростью 250 Мбит/с для линии DL и UL.

Исходя из требований к скорости и пропускной способности сеть 5G в режиме eMBB должна реализовывать приведенные ниже требования к трафику:

- для охвата глобальной зоны сеть 5G должна поддерживать минимальную скорость передачи данных на одного пользователя 100 Мбит/с для услуг eMBB в любое время и в любом месте, для пешеходов (скорость до 10 км/ч) и пользователей в транспортном средстве (до 120 км/ч), за исключением очень высокой плотности соединения – 150 тыс. абонентов на 1 км² (например, стадион);
- обеспечивать 100%-ное покрытие географической зоны сети как части глобального охвата (один путь должен быть организован через сеть доступа на основе спутникового сегмента 5G). Эта географическая зона относится ко всей области, которая может быть покрыта лицензией на использование радиочастотного спектра и может быть региональной или глобальной;
- поддерживать обслуживание, ограниченное заранее определенной географической зоной, например, при размещении абонентов в жилых помещениях. Для пользователей внутри помещений в сценарии с высокой плотностью соединения (75 тыс. на км²) (например, в точке доступа) сеть 5G должна поддерживать скорость передачи данных для взыскательного к качеству пользователя до 1 Гбит/с в DL и 500 Мбит/с в UL, что требует обеспечения плотности трафика 112,5 Тбит/с/км² (UL + DL);
- обеспечивать для пешеходов в многолюдной зоне с очень высокой плотностью (150 тыс. соединений на км², как на стадионе, или 30 тыс. абонентами на стадионе) скорость передачи данных 25 Мбит/с в DL и 50 Мбит/с в UL, что требует обеспечения плотности трафика 12 Тбит/с/км² (UL + DL);

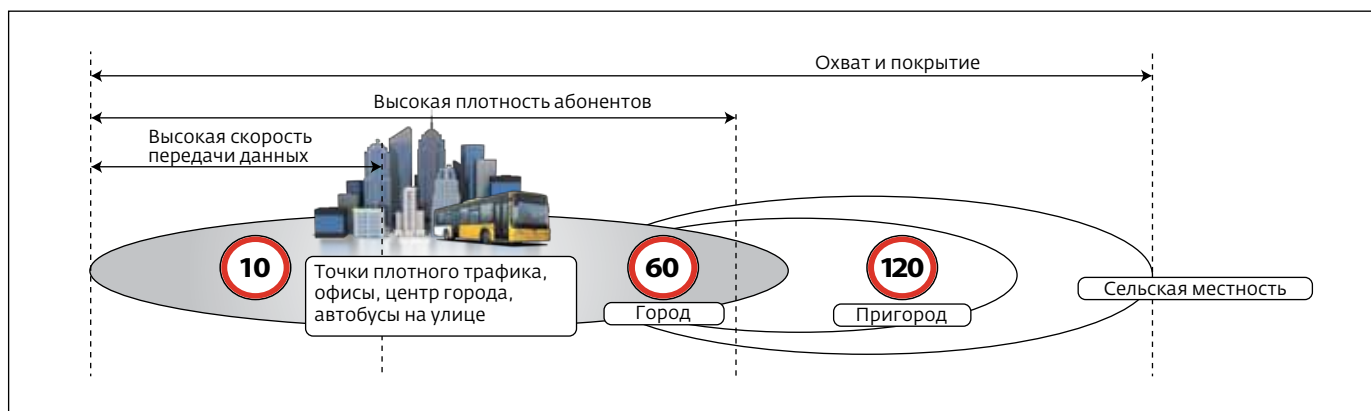


Рис.1. Сценарии использования услуг eMBB для прогноза трафика (Источник: 3GPP)

Таблица 2. Требования к скоростям передачи данных и плотности трафика в сети 5G для услуг eMBB

Семейство сценариев eMBB	Высокая скорость передачи данных		Высокая плотность абонентов	Охват и покрытие
Скорость движения абонента	Пешеходы (до 10 км/час) в небольших зонах обслуживания: офисы, стадион		Пешеходы или транспорт до 60 км/ч	Пешеходы или транспорт до 120 км/ч
Скорость передачи данных	Везде: минимум 100 Мбит/с (в DL пока отсутствует) (NGMN: 50+ Мбит/с)			Везде: минимум 100 Мбит/с (в DL пока отсутствует) (NGMN: 50+ Мбит/с)
Скорость передачи данных. Плотность абонентских терминалов на км ²	А) Пиковая скорость: 10 Гбит/с, опытн. скорость: до 1 Гбит/с (пока отсутствует). В) Отсутствует: опытная скорость – 1 Гбит/с в линии DL, плотность трафика 17 Тбит/с/км ² (UL+DL)	Опытная скорость (стадион) в линии DL 25 Мбит/с. В линии UL 50 Мбит/с отсутствует для eMBBTR. Плотность трафика 12 Тбит/с/км ² (UL+DL)	Гарантированная скорость: 300 Мбит/с в линии DL / 50 Мбит/с в линии UL Плотность трафика: 1 Тбит/с/км ²	Везде: минимум 100 Мбит/с (в DL пока отсутствует) (NGMN: 50+ Мбит/с)
	Отсутствует: <200 соединений АТ на км ² . В) 75 тыс. АТ соединений на км ²	150 тыс. АТ на км ² , 30 тыс. АТ на один стадион	200–2 500 соединений на км ²	
Классификация по версии Ассоциации NGMN	А) [CPR-7-004] В) [CPR-7-005]	[CPR-7-006]	[CPR-7-007] +[CPR-7-008]	400 соединений на км ² (пригород), 100 соединений на км ² (город)

- обеспечивать плотность в зоне, по крайней мере, на уровне 1 Тбит/км² для трафика пользователей-пешеходов и пользователей в городских транспортных средствах (60 км/ч) с количеством соединений 200–2 500 абонентов на км².
Итоговые требования к скоростям передачи данных и плотности трафика в сети 5G для услуг eMBB представлены в табл.2.

Для взыскательных пешеходов и в транспортных средствах система 3GPP должна поддерживать скорость передачи данных DL опытного вещания до 300 Мбит/с (например, видеопотоки,

такие как UHD 4K или 8K). Для тех же пользователей сеть 5G должна поддерживать по меньшей мере 15 каналов вещания со скоростью 20 Мбит/с в каждом одновременно на одной и той же несущей.

Спецификация 3GPP TS 22.886 определила два исследуемых сценария трафика для бизнес-модели "транспортное средство – транспортное средство" (V2X) для межмашинных коммуникаций в группе транспортных средств. Эти сценарии определили следующие требования для функционирования в сети 5G для услуг V2X:

- сценарий 1: Расстояние между транспортными средствами для группы автомобилей нормальной плотности может превышать 2 м. Когда группа движется со скоростью 100 км/ч, машины перемещаются за 36 мс на 1 м. Учитывая время прохождения сигнала в обоих направлениях и задержку обработки, следует поддерживать частоту повторения сообщений до 40 Гц со сквозной задержкой 25 мс и длиной сообщений около 300–400 байт;
- сценарий 2: Расстояние между транспортными средствами для группы автомобилей нормальной плотности может превышать 1 м. Когда группа движется со скоростью 100 км/ч, машины перемещаются за 36 мс на 1 м. Учитывая время прохождения сигнала в обоих направлениях и задержку обработки, следует поддерживать частоту повторения сообщений до 100 Гц со сквозной задержкой 10 мс и длиной сообщений в пределах 50–1200 байт.

Машины, движущиеся по дороге, в режиме V2X могут динамически формировать или изменять группу. Управляющий группы отвечает за обеспечение управления в группе автомобилей. Этот менеджер должен в режиме реального времени обновлять данные трафика об окружающей обстановке, получаемые от членов группы, и сообщать об этом базовой станции RSU (Road Side Unit). В то же время, менеджер группы должен в режиме реального времени получать сообщения RSU, которые включают в себя дорожные условия и информацию о движении вдали и передавать их ее членам. Все участники группы также могут делиться информацией внутри группы через сети V2V.

Примером оценки условий формирования трафика в сети V2V является наихудший сценарий для автострады США: движение по пяти полосам в каждом направлении (или всего 10 полос на шоссе), до трех пересекающихся магистралей, что составляет около 3100–4300 автомобилей на кв. км. Следует иметь в виду, что этот сценарий не учитывает магистральные дороги на съездах.

Большинство перечисленных сценариев будет исследоваться в ходе разработки технических спецификаций Релиза (Release) 16 3GPP (фаза 2 развития 5G) [10].

ОЦЕНКА БУДУЩЕГО ТРАФИКА В СЕТЯХ 5G МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ СВЯЗИ

Международный союз электросвязи выпустил отчет М.2370 [1], который содержит расчеты глобального трафика ИМТ на период после 2020 года. На основании этих расчетов можно сделать вывод, что глобальный трафик в мобильных сетях, включая сети 5G, в период с 2020 по 2030 год вырастет в 10–100 раз. Также в отчете МСЭ-Р М.2370 делается вывод об

асимметрии трафика в сети 5G в различных линиях связи в указанный период времени. В настоящее время наблюдается смещение среднего коэффициента асимметрии трафика в сторону линии вниз (DL) для услуг eMBB (загрузка данных из интернета) и в сторону линии вверх (UL) для услуг типов uRLLC и mMTC. И это смещение будет, как ожидается, увеличиваться в связи с ростом потребления аудиовизуального контента (для услуг eMBB) и числа устройств Интернета вещей mMTC на площади обслуживания сети 5G.

Основными драйверами ожидаемого роста трафика в сетях 5G являются:

- потребление видеоконтента: использование услуг видеоконтента по требованию и его разрешение будут продолжать расти. Ожидается, что уже к 2020 году люди захотят смотреть аудиовизуальный контент высокого разрешения (HD / UHD) независимо от способа доставки контента. По данным Bell Labs, в 2016 году потоковая передача видео составляла более 66% всего мобильного трафика. Прогнозы компании Ericsson показывают, что в 2018 году трафик мобильного видео составлял 60% всего трафика с объемом 27 Эбайт в месяц [2]. Ряд экспертов оценивают, что от 74 до 90% трафика в сетях 5G будет трафиком мобильного видео;
- распространение абонентских устройств: в 2016 году только 1 из 7 человек (или около 1 млрд) планировал покупку новых смартфонов, а в 2017 году более 1,4 млрд смартфонов и планшетов стали самой быстрорастущей категорией бытовой электроники;
- использование новых приложений: скорость, с которой абоненты загружают новые приложения через мобильные сети, увеличивается.

Ежегодная глобальная загрузка приложений в смартфоны составила 102 млрд в 2013 году и выросла до 270 млрд в 2017 году. Следует отметить, что большинство приложений абоненты после их загрузки в смартфон используют не более одного раза. Это потребление и их использование мобильных приложений будут способствовать увеличению объема мобильного широкополосного трафика. Кроме того, регулярные обновления этих сотен миллиардов приложений также будут увеличивать трафик.

Для нескольких сценариев использования AC и развертывания сети 5G требуется поддержка очень высоких скоростей передачи данных или плотности трафика сети. Эти сценарии касаются различных зон обслуживания: городских и сельских районов, офиса и дома, а также специальных сценариев развертывания сетей (например, массовых скоплений абонентов в жилых и офисных помещениях, высокоскоростных

Таблица 3. Требования к скорости передачи данных и плотности трафика для различных сценариев

№	Сценарий	Скорость передачи данных DL	Скорость передачи данных UL	Плотность трафика в канале DL	Плотность трафика в канале UL	Плотность абонентов	Фактор активности	Характеристики движения UE (абон. оборудования)	Покрытие
1	Макросоты, город	50 Мбит/с	25 Мбит/с	100 Гбит/с/км ² (Прим.4)	50 Гбит/с/км ² (Прим.4)	10 тыс. на км ²	20%	Пешеходы и абоненты в ТС (до 120 км/ч)	Полная сеть (Прим.1)
2	Макросоты, пригород	50 Мбит/с	25 Мбит/с	1 Гбит/с/км ² (Прим.4)	500 Мбит/с/км ² (Прим.4)	100 на км ²	20%	Пешеходы и абоненты в ТС (до 120 км/ч)	Полная сеть (Прим.1)
3	Внутри помещений	1 Гбит/с	500 Мбит/с	15 Тбит/с /км ²	2 Тбит/с /км ²	250 тыс. на км ²	(Прим.2)	Пешеходы	Офисы и жилые дома (Прим.2) (Прим.3)
4	МВВ для мас. абонентов: стадион	25 Мбит/с	50 Мбит/с	3,7 Тбит/с на км ²	7,5 Тбит/с на км ²	500 тыс. на км ²	30%	Пешеходы	Ограниченные зоны
5	Городские зоны с высокой плотностью	300 Мбит/с	50 Мбит/с	750 Гбит/с /км ² (Прим.4)	125 Гбит/с /км ² (Прим.4)	25 тыс. на км ²	10%	Пешеходы и пользователи в ТС (до 60 км/ч)	Центр города (Прим.1)
6	Услуги вещания контента	Максимум 200 Мбит/с (на ТВ-канал)	500 кбит/с на абонента	Исследуется	Исследуется	15 ТВ-каналов по 20 Мбит/с на одну несущую	Исследуется	Стационарные абоненты, пешеходы, абоненты в ТС (до 500 км/ч)	Полная сеть (Прим.1)
7	Высокоскоростной поезд	50 Мбит/с	25 Мбит/с	15 Гбит/с /поезд	7,5 Гбит/с /поезд	1000 на поезд	30%	Абоненты в поезде (до 500 км/ч)	Вдоль ж.-д. линий (Прим.1)
8	Высокоскоростное ТС	50 Мбит/с	25 Мбит/с	100 Гбит/с/км ²	50 Гбит/с /км ²	4 000 на км ²	50%	Абоненты в ТС (до 250 км/ч)	Вдоль дорог (Прим.1)
9	Соединения на ВС	15 Мбит/с	7,5 Мбит/с	1,2 Гбит/с /ВС	600 Мбит/с /ВС	400 на Мбит/с /ВС	20%	Абонентов в ВС (до 1 000 км/ч)	(Прим.1)

Прим. 1: Для пользователей в автомобилях, когда UE может быть подключено непосредственно к сети или через встроенную движущуюся БС.

Прим. 2: Предполагается смешанный трафик; только некоторые пользователи используют услуги, требующие максимальной скорости передачи данных.

Прим. 3: Для интерактивных аудио- и видеослужб, например, виртуальных конференций, требуемая двухсторонняя сквозная латентность (UL и DL) составляет 2–4 мс, а соответствующая скорость передачи данных должна быть до 8 тыс. 3D-видео [300 Мбит/с] в линии связи вверх и вниз.

Прим. 4: Эти значения основаны на расчете общей плотности пользователей.

Прим. 5: Все значения являются целевыми ориентирами, а не строгими требованиями.

транспортных средствах (автомобилях, автобусах, поездах и воздушных судах).

Разработанные в Релизе 15 сценарии для услуг eMBB и требования к скорости передачи данных и плотности трафика для этих сценариев, используемых Партнерским проектом 3GPP, приведены в табл.3 [11].

Эти сценарии включают следующие варианты применения:

- использование макросот в городских условиях представляет общий широкомасштабный сценарий для развертывания сети в городской местности;
- использование макросот в сельской местности и пригороде представляет общий сценарий для зон покрытия в сельской местности и пригороде;
- точки доступа внутри зданий представляют общий сценарий для офисов и домов и жилых помещений;

- широкополосный доступ при проведении массовых мероприятий представляет сценарий для очень плотных скоплений абонентов, например, на стадионах или в концертных залах. В дополнение к требованию очень высокой плотности соединений следует учесть, что абоненты хотят делиться тем, что они видят и слышат, предъявляя более высокие требования к пропускной способности линии связи UL по сравнению с линией DL;
- бизнес-модель "городские условия с плотным трафиком" для сети 5G представляет сценарий использования для пользователей-пешеходов и пассажиров в городских транспортных средствах, а также в офисах, городских развлекательных центрах, торговых центрах и жилых районах. Пользователи в транспортных средствах

могут быть подключены к сети либо напрямую, либо через встроенную БС;

- широкополосные высокоскоростные услуги доступа представляет сценарий для стационарных пользователей, пользователей-пешеходов и в транспортных средствах, в офисах, городских центрах, торговых центрах, жилых районах, сельских районах и в высокоскоростных поездах. Пассажиры в транспортных средствах могут быть подключены к сети радиодоступа 5G либо напрямую, либо через бортовую БС;
- "высокоскоростной поезд" представляет сценарий для пользователей-пассажиров. Пользователи могут подключаться к сети либо напрямую, либо через встроенную БС;
- высокоскоростное транспортное средство (ТС) представляет сценарий для пользователей транспортных средств на дорогах. Пользователи могут подключаться к сети либо напрямую, либо через встроенную БС;
- связь с воздушными судами представляет сценарий для услуг eMBB для пассажиров-пользователей в самолетах. Пользователи могут подключаться к сети либо напрямую, либо через встроенную БС;

Анализ данных табл.3 показывает, что удельная плотность трафика для бизнес-модели в линии DL может лежать от 500 Мбит/с/км² до 7,5 Тбит/с/км² для услуг eMBB в зависимости от сценариев услуг. Для транспорта удельная плотность трафика составляет: от 7,5 до 15 Гбит/с на состав для высокоскоростных поездов, от 50 до 100 Гбит/с на кв. км для высокоскоростных транспортных средств и от 600 Мбит/с до 1,2 Гбит/с на воздушное судно для самолетов.

Для ряда сценариев использования устройств 5G требуется поддержка услуг с очень низкой задержкой и высочайшей надежностью (бизнес-модель uRLLC). Общая задержка услуги зависит от задержек на радиointерфейсе, в опорной сети 5G, передачи на сервер, который может находиться за пределами сети 5G, и скорости обработки данных. Некоторые из этих задержек напрямую зависят от самой сети 5G, тогда как для других влияние может быть уменьшено за счет подходящих взаимосвязей между сетью 5G и службами или серверами за пределами этой сети, например, чтобы обеспечить локальный хостинг услуг.

Бизнес-модель uRLLC предоставляет услуги, востребованные современной экономикой, которую относят к четвертой технологической революции [12]. В новой цифровой экономике управление промышленностью автоматизируется путем развертывания сетей 5G на заводах для создания локальных сетей передачи данных в целях управления промышленными роботами, включая мобильные, которые перемещаются

в пределах зон расположения умных заводов (фабрик). Типичные случаи использования промышленной автоматизации, требующие uRLLC, включают автоматизацию заводских технологических процессов и энергосистем. При использовании этих приложений, должна поддерживаться сквозная сетевая задержка ниже 0,5 мс и чрезвычайно высокая надежность с показателем вероятности ошибок BLER = $1 \cdot 10^{-9}$ [13, 14].

Сценарии и их требования к производительности можно найти в табл.4.

Сценарии услуг 5G для бизнес-модели, которая требует обеспечения очень низкой задержки и очень высокой надежности услуг связи, могут включать следующие:

- управление и контроль движения ТС. Традиционное управление движением ТС характеризуется высокими требованиями к сети связи относительно латентности, надежности и времени доступа. Системы, поддерживающие управление движением, обычно развертываются в географически ограниченных областях, но могут также развертываться в более широких областях (например, в городских или общенациональных сетях), доступ к ним может быть ограничен авторизованными пользователями, и они могут быть изолированы от сетей или сетевых ресурсов, используемых другими сотовыми клиентами;
- дискретная автоматизация производственных и потребительских сетей, которая характеризуется высокими требованиями к сети доступа по надежности и времени доступа. Сети, поддерживающие дискретную автоматизацию, обычно развертываются в ограниченных географических зонах, доступ к ним может быть ограничен авторизованными пользователями, и они могут быть изолированы от сетей или сетевых ресурсов, используемых другими клиентами;
- автоматизация производственных процессов (промышленный Интернет вещей), например, нефтеперерабатывающих и водораспределительных сетей. Автоматизация процессов характеризуется высокими требованиями к сети связи в части времени доступа к ее услугам. Системы, поддерживающие автоматизацию процессов, обычно развертываются в географически ограниченных зонах, доступ к ним обычно лимитируется авторизованными пользователями, и они обслуживаются выделенными сетями, а не сетями общего пользования;
- автоматизация распределения электроэнергии (Smart Grid для линий среднего и высокого напряжения). Распределение электроэнергии характеризуется высокими требованиями к доступу к услугам связи. В отличие от вышеупомянутых случаев

использования, распределение электроэнергии глубоко увязано с жизнеобеспечением общества и городским хозяйством в бизнес-моделях "Умный город", "Умный офис" и "Умный дом". Поскольку системы распределения электроэнергии являются критически важной инфраструктурой, они, как правило, будут обслуживаться также выделенными сетями связи;

- Интеллектуальные транспортные системы (ИТС). Эти системы реализуют решения для автоматизации транспортной инфраструктуры, поддерживающей уличный трафик. В этом варианте использования рассматривается подключение дорожной инфраструктуры, например, устройств на обочине дороги и светофоров, с другой инфраструктурой, например системой управления дорожным движением. Как и в случае автоматизации электроснабжения, узлы транспортной инфраструктуры глубоко интегрированы в общественное пространство городской среды в бизнес-модели "Умный город";
- тактильное взаимодействие. Оно характеризуется необходимостью передачи тактильных реакций человека при взаимодействии его с окружающей средой или людьми, или управлении абонентским устройством 5G при использовании тактильной

обратной связи для управления в сетях "человек-машина", например, в медицинских операционных роботах;

- дистанционное управление различными исполнительными устройствами. Оно осуществляется абонентским устройством 5G, которое также управляется на расстоянии, либо человеком, либо компьютером.

Анализ данных табл.4 показывает, что удельная плотность трафика для бизнес-модели uRLLC в линии DL может лежать в диапазоне от 1 Тбит/с/км² до 10 Гбит/с/ км² в зависимости от сценариев услуг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подходы к формированию сценариев размещения абонентских и базовых станций в зависимости от сценария использования ключевых услуг 5G у Партнерского проекта 3GPP и МСЭ отличаются из-за различия в целях проведенных исследований (создание оборудования сетей 5G фазы 1 и оценка потребностей в спектре 5G национальными операторами связи соответственно), что приводит к различиям в оценках прогнозируемого трафика в сетях 5G.

Наиболее детально исследованы два сценария использования ключевых услуг 5G:

Таблица 4. Характеристики для сценариев с низкой задержкой и высокой надежностью

Сценарий	Задержка E2E (Прим.3)	Джиттер	Время безотказн. работы	Доступность услуг соединения (Прим.4)	Надежность соединения (Прим.4)	Скорость передачи абонента	Полезная нагрузка (Прим.5)	Плотность трафика (Прим.6)	Плотность соединений (Прим.7)	Размеры зоны обслуживания (Прим.8)
Дискретная автоматизация – управление движением (Прим.1)	1 мс	1 мкс	0 мс	99,9999%	99,9999%	С 1 Мбит/с до 10 Мбит/с	Малая	1 Тбит/с на км ²	100 тыс. на км ²	100 × 100 × 30 м
Дискретная автоматизация	10 мс	100 мкс	0 мс	99,99%	99,99%	10 Мбит/с	От малой к большой	1 Тбит/с на км ²	100 тыс. на км ²	1000 × 1000 × 30 м
Автоматизация процессов – удаленное управление	50 мс	20 мс	100 мс	99,9999%	99,9999%	От 1 Мбит/с до 100 Мбит/с	От малой к большой	100 Гбит/с на км ²	1 000 на км ²	300 × 300 × 50 м
Автоматизация процессов – мониторинг	50 мс	20 мс	100 мс	99,9%	99,9%	1 Мбит/с	Малая	10 Гбит/с на км ²	10 тыс. на км ²	300 × 300 × 50 м
Распределение электроэнергии – средний вольтаж сети	25 мс	25 мс	25 мс	99,9%	99,9%	10 Мбит/с	От малой к большой	10 Гбит/с на км ²	1 000 на км ²	100 км на одну линию передачи
Распределение электроэнергии – высокий вольтаж сети (Прим.2)	5 мс	1 мс	10 мс	99,9999%	99,9999%	10 Мбит/с	Малая	100 Гбит/с на км ²	1 000 на км ² (Прим.9)	200 км на одну линию передачи
ИТС – транспортная инфраструктура	10 мс	20 мс	100 мс	99,9999%	99,9999%	10 Мбит/с	От малой к большой	10 Гбит/с на км ²	1 000 на км ²	2 км на одну дорогу
Тактильное взаимодействие (Прим.1)	0,5 мс	ТВС	ТВС	[99,999%]	[99,999%]	[Низкая]	[Малая]	[Низкая]	[Низкая]	ТВС
Удаленное (дистанционное) управление	[5 мс]	ТВС	ТВС	[99,999%]	[99,999%]	[от низкой до 10 Мбит/с]	От малой к большой	[Низкая]	[Низкая]	ТВС

Прим. 1: Приоритизация трафика и услуги хостинга, близкие к конечному пользователю, могут оказаться полезными при достижении самых низких значений задержки.

Прим. 2: В настоящее время реализуется через проводные линии связи.

Прим. 3: Это полная задержка, требуемая в сети 5G для доставки услуги, когда задержка E2E полностью сосредоточена в сети 5G от UE до интерфейса с сетью данных.

Прим. 4: Доступность услуг связи относится к сервисным интерфейсам, надежность относится к данному системному объекту. Одна или несколько повторных передач пакетов сетевого уровня могут выполняться для удовлетворения требований надежности.

Прим. 5: Малый: типовая полезная нагрузка ≤ 256 бит.

Прим. 6: Исходя из предположения, что все подключенные приложения в объеме обслуживания требуют высокой скорости передачи данных у пользователя.

Прим. 7: В предположение 100%-ного проникновения 5G.

Прим. 8: Оценки максимальных размеров; последняя цифра – это вертикальное измерение.

Прим. 9: В плотных городских зонах.

Прим. 10: Все значения являются целевыми, а не строгими требованиями. Развертываемые конфигурации сети должны приниматься во внимание когда рассматриваются услуги, соответствующие целевым показателям.

широковещательные высокоскоростные услуги доступа eMBB и услуги связи с очень низкой задержкой и очень высокой надежностью uRLLC, для которых получены соответствующие оценки трафика в сети. Прогнозы характеристик трафика, сделанные 3GPP для бизнес-моделей eMBB и uRLLC (фаза 1 Релиза 15), показывают, что удельная плотность трафика в линии вниз может лежать в пределах от 15 Тбит/с/км² до 1 Гбит/с/км² для eMBB и от 1 Тбит/с/км² до 10 Гбит/с/км² для uRLLC в зависимости от сценариев услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Report ITU-R M.2370-0 (07/2015). IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030.
2. Ericsson mobile report. Ericsson, 2018.
3. The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligent automation. GSMA report. 2017
4. Doc. ITU-R 5D/TEMP/265(Rev.3) Attachment 2 on spectrum needs to a liaison statement to Task Group 5/1. Characteristics of terrestrial IMT systems for frequency sharing/interference analyses in the frequency range between 24.25 GHz and 86 GHz
5. 3GPP TS 22.861. Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers for Massive Internet of Things; Stage 1.
6. 3GPP TS 22.862. Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers for Critical Communications; Stage 1.
7. 3GPP TS 22.863. Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers - Enhanced Mobile Broadband; Stage 1.
8. 3GPP TS 22.864. Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers - Network Operation; Stage 1.
9. 3GPP TR 22.886. Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 16)
10. **Тихвинский В.О.** Стандартизация мобильной связи 5G как процесс создания инфраструктурной основы цифровой экономики // Электро-связь. 2018. № 12. С. 24–30.
11. 3GPP Technical Specification Group Services and System Aspects; TS 22.261. Service requirements for the 5G system; Stage 1 (Release 16)
12. **Luvisotto M., Pang Z., Dzung D.** Ultra High-Performance Wireless Control for Critical Applications: Challenges and Directions // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2017. Vol. 13. No. 3. PP. 1448–1459.
13. 3GPP TR 22.101: Service aspects; Service principles
14. Nokia White paper on 5G for Mission Critical Communication. Nokia, 2016.