

# 5G с точки зрения возможностей развертывания коммерческих сетей



**Александр ГЕРАСИМОВ,**  
директор по анализу процессов  
цифровой трансформации,  
J'son & Partners Consulting

## Разбираемся с терминологией

Сегодня все-таки можно сформулировать для 5G некое консенсусное определение: 5G – это сеть, позволяющая за счет использования технологий виртуализации сетевых и других функций и централизованного программного управления правилами обработки трафика в различных физических средах создавать выделенные логические сети со специфическим набором функций, ресурсов, метрик QoS и диапазонов их значений. То есть речь в таком случае идет о переходе от ограниченного перечня относительно простых и некастомизируемых услуг связи, оказываемых на общей физической инфраструктуре, к практически неограниченной номенклатуре новых глубоко кастомизируемых услуг, оказываемых



**Виталий СОЛОНИН,**  
директор департамента  
беспроводных решений,  
J'son & Partners Consulting

на выделенных логических (виртуальных) сетях, которые, в свою очередь, базируются на общей физической инфраструктуре.

Принципиальным новшеством является и возникновение граничных вычислений как неотъемлемого элемента сети. Поэтому 5G можно описать как сеть распределенных вычислений, т. е. базовым ресурсом такой сети становятся не только сетевая емкость, но и вычислительная мощность, и дисковое пространство. Причем указанные ресурсы распределены по узлам сети, а инстансы виртуализованных функций могут не только масштабироваться в пределах одного узла, но и перемещаться между узлами для наиболее рационального использования ее ресурсов при предоставлении функций сети по требованию с измеримым и управляемым QoS.

Очевидно, что любая стандартизация должна начинаться с определения предмета, однако в случае с 5G мы уже на начальном этапе сталкиваемся с проблемой: если для ключевых технологических элементов сетей 5G были сформулированы четкие определения, то для сети в целом системного определения нет. «Система и ее компоненты, обеспечивающие намного бóльшие возможности, чем описанные в стандарте 4G», – это не шутка, а практически дословная цитата определения сети 5G (IMT-2020) от ITU-T. В 3GPP поступили еще проще и определили сеть 5G как то, что описывается в стандарте 5G, вообще без указания концептуальной идеи стандарта.

Такие изменения ставят много новых вопросов, не имеющих пока должного отражения в стандартах 5G. Разработка новых бизнес-моделей и механизмов управления виртуализованной сетью распределенных вычислений является, на наш взгляд, ключевой проблемой.

## Стандартизация 5G

Основными организациями, вовлеченными в стандартизацию

сетей 5G на глобальном уровне и претендующими на роль обобщения и консолидации этих усилий в виде полноценных стандартов, являются:

- стандартизирующий орган при Международном союзе электросвязи МСЭ-Т (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector – ITU-T);

- партнерский проект 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

На европейском уровне вопросами стандартизации сетей и услуг 5G занимается Европейский институт стандартизации электросвязи (European Telecommunications Standards Institute – ETSI).

В Секторе радиосвязи МСЭ-Р и Секторе стандартизации МСЭ-Т созданы рабочая группа WP5D «ИМТ-системы» в исследовательской комиссии ИК5 «Наземные службы» и оперативная группа (ОГ) ИМТ-2020 в ИК13 «Будущие сети, включая облачные вычисления, сети подвижной связи и сети последующих поколений».

Оперативная группа по сетевым аспектам ИМТ-2020 в ИК13 Сектора стандартизации МСЭ-Т была создана в мае 2015 г. для анализа принципов взаимодействия появляющихся технологий 5G в будущих сетях – в качестве предварительного исследования инноваций в организации сетей, необходимых для обеспечения развития систем стандарта 5G. Проведя исследования будущего развития 5G, ОГ ИМТ2020 приняла концепцию экосистемы 5G и опубликовала результаты анализа развития сетей 5G в Отчете 13-й Исследовательской комиссии МСЭ-Т, которая разрабатывает проекты стандартов 5G по сетевой архитектуре, сетевым возможностям, сетевым слоям («слайсингу»), сетевому оркестрированию, управлению сетью и инфраструктуре для обеспечения качества обслуживания.

Сектор стандартизации МСЭ-Т стремится ускорить работу по стандартизации проводных элементов сетей 5G. ИК15 разрабатывает технический отчет по требованиям к оптическим

транспортным сетям в составе сетей 5G. ИК11 изучает вопросы построения плоскости управления сети 5G, протоколы и методологию их тестирования. ИК5 исследует экологические требования к системам 5G.

В ноябре 2017 г. ИК13 создала фокус-группу по исследованию использования алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения в сетях 5G. В июле 2018 г. в секторе МСЭ-Т была создана фокус-группа технологии для сетей 2030 (Technologies for Network 2030 или FG NET-2030).

Сфера стандартизации 3GPP охватывает сеть радиодоступа, сервисные возможности и общую архитектуру сети, опорную сеть и возможности терминалов. Именно так называются соответствующие группы разработки технических спецификаций: Radio Access Network (RAN), Services & Systems Aspects (SA) и Core Network & Terminals (CT). В составе каждой из них трудятся по несколько рабочих групп. Например, рабочая группа RAN1 разрабатывает спецификации физического уровня сети радиодоступа, группа SA2 занимается архитектурой сети 3GPP, группа SA3 – безопасностью систем 3GPP и т. д.

При разработке спецификаций 3GPP следует методологии МСЭ-Т. Спецификации первой стадии (early drop) формулируют требования к тому или иному сервису с точки зрения конечного пользователя. Спецификации второй стадии (main drop) описывают архитектуру, с помощью которой удовлетворяются сформулированные требования. Спецификации третьей стадии (final drop) детализируют протоколы, посредством которых реализуется описанная архитектура. Для каждой стадии устанавливаются даты, позже которых не разрешается внесение изменений в спецификации. Набор зафиксированных спецификаций всех стадий представляет собой очередной релиз 3GPP, а дату фиксации третьей стадии называют датой выхода релиза.

Концепция стадий и релизов дает возможность рабочим

группам 3GPP разрабатывать очередные спецификации, опираясь на неизменное содержание спецификаций предыдущей стадии, а производителям – начинать разработку и выпуск стандартизованного оборудования, соответствующего спецификациям.

Укажем на основные различия в подходах к стандартизации, используемых ITU-T и 3GPP.

- ITU-T придерживается рамочного подхода, концентрируясь на стандартизации общей концепции сетей 5G, описывая свойства 5G как системы, необходимые для их реализации функциональные блоки и принципы взаимодействия этих блоков, но не конкретизируя технологии реализации описываемых функций.

- Консорциум 3GPP, основными контрибуторами которого выступают вендоры RAN (Radio Access Network), реализует подход детальной стандартизации, жестко фиксирующей конкретные технологии реализации функциональных блоков системы. Очевидно, что такой подход объективно необходим ввиду наличия в большинстве стран двойного лицензирования деятельности операторов мобильной связи – как в части лицензирования ключевого для них радиочастотного ресурса, так и в части лицензирования конечных сервисов (услуг мобильной связи).

В целом над отдельными аспектами стандартизации 5G работает множество организаций, среди которых можно отметить IEEE в лице Инженерного совета Интернета (Internet Engineering Task Force – IETF), GSMA, 5GPPP (The 5G Infrastructure Public Private Partnership).

Вследствие указанных различий в подходах между ITU-T и 3GPP наиболее детально проработанным стандартом 5G является стандарт 3GPP. Завершенный (late drop ASN.1) в сентябре 2019 г. 15-й релиз 3GPP, соответствующий первой фазе системы 5G, уже описывает все необходимые для запуска сетей 5G компоненты, включая не только

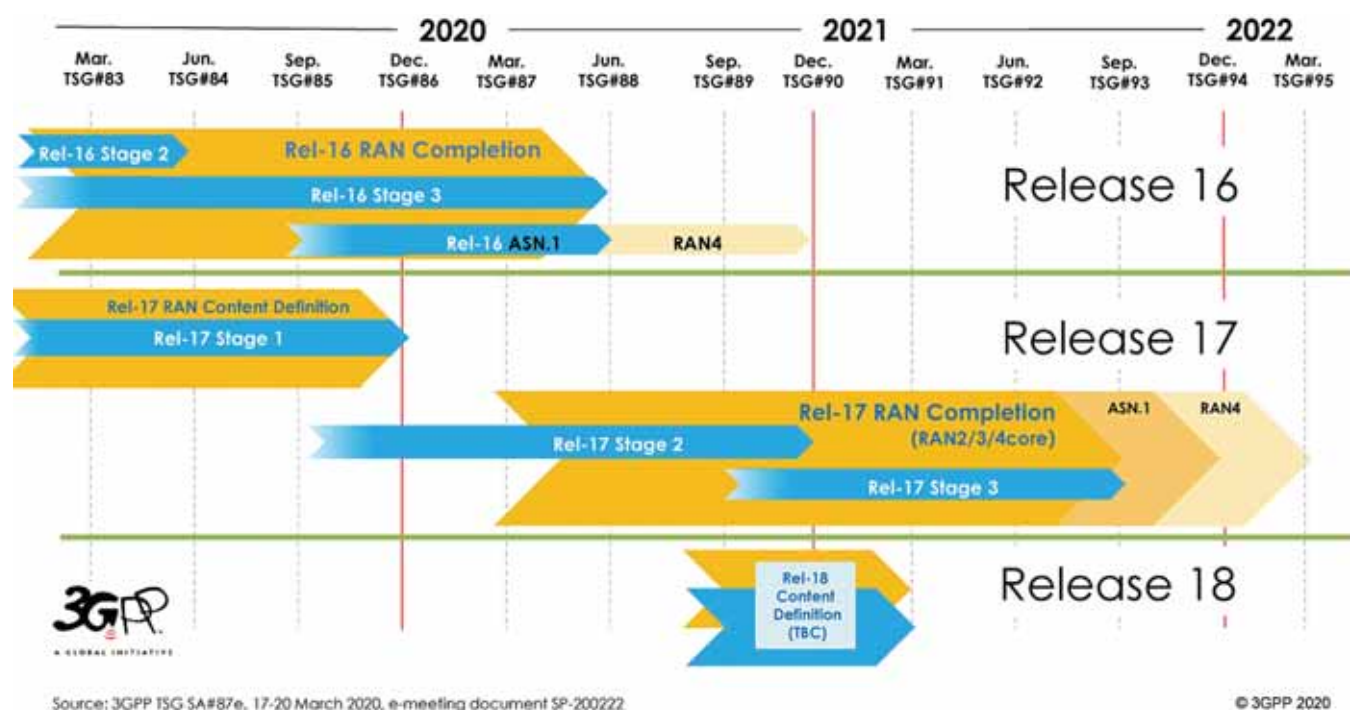


Рис. 1. План 3GPP по релизам 16\* и 17

\* В марте 2020 г. срок заморозки 16-го релиза 3GPP был сдвинут на три месяца – на июнь 2020 г.

детальное описание технологий реализации RAN, но и основные технологические функции ядра сети, механизмы управления QoS в RAN и формирования слоев.

Первоначальные спецификации 15-го релиза 3GPP позволили внедрить в 2019 г. неавтономные радиосистемы 5G, интегрированные в сети LTE предыдущего поколения, и формально запустить первые коммерческие сети 5G. Вместе с тем 15-й релиз охватывает автономные сети 5G с новой радиосистемой, дополненной пакетным ядром следующего поколения.

Основные результаты стандартизации первой фазы сетей 5G (15-й релиз 3GPP) относятся к RAN.

- Возможность работать в низких, средних и высоких частотных диапазонах (26 диапазонов до 40 ГГц).
- Поддержка двух радиointерфейсов LTE и 5G NR, включая режим двойного присоединения, когда абонентский терминал подключен и к LTE, и к NR.
- Пиковая скорость 5 Гбит/с с возможностями роста до 50 Гбит/с в последующих релизах.

- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) – доступ в линиях «вниз» и «вверх», с опцией SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) в линии «вверх».
- Применение Massive MIMO и Beamforming. Каналы данных, управления и широко вещания поддерживают Beamforming.
- Поддержка FDD или TDD режимов в различных диапазонах.
- Нумерология 2N X 15 кГц с разнесом поднесущих в радиоблоке до 120 кГц и в будущем до 240 кГц. Фаза 1 5G поддерживает ширину канала до 400 МГц.
- Агрегация несущих до 16 каналов в радиointерфейсе NR.
- Суммарная полоса агрегации может достигать 1 ГГц.
- Коррекция ошибок в канале с помощью LDPC-кодов (lowdensity parity codes – код с малой плотностью проверок на четность) при передаче. Использование полярных кодов в каналах управления.
- Поддержка облачной RAN на основе расщепления протоколов на уровнях PDCP (Packet Data Convergence Protocol) и RLC (Radio Link Control).

В части описания ядра сети 5G в релизе 15 следует отметить довольно смелый и считающийся перспективным выбор подхода Cloud Native с использованием stateless-контейнеров для развертывания инстансов виртуальных функций Control Plane и функции UPF в Data Plane, с возможностью в последующем виртуализации и функций RAN.

Релиз 3GPP 16 (вторая фаза 5G) заморожен в начале июля 2020 г., практически как и планировалось (рис. 1). Это важно для понимания сроков появления полноценных коммерческих сетей 5G, поскольку P16 считается основным (хотя и не последним) – формально он доводит до завершения первую «полную» систему 3GPP 5G, отвечающую требованиям IMT-2020.

В рамках 16-го релиза предполагается выполнить работы по таким важным для коммерческого успеха сетей 5G направлениям, как сетевые слои, взаимодействие в вертикальных доменах и автоматизация сети, приоритезация мультимедиа-сервисов (Multimedia Priority Service), стандартизация услуг прикладного уровня класса V2X

(Vehicle-to-everything – автомобиль, подключенный «ко всему», система беспроводной связи, представляющая собой совокупность всех возможных коммуникационных систем автомобиля) и других сервисов Индустриального Интернета вещей (IIoT), безопасность, интеграция со спутниковыми сетями, поддержка локальных сетей (LAN) в 5G, конвергенция проводных и беспроводных сетей.

Кроме того, разрабатываются технические отчеты (Technical Reports – TRs), являющиеся результатами очередного этапа исследований, для расширения применимости технологии 3GPP к другим видам радиодоступа (спутниковая связь, базовые станции, установленные на борту самолета), а также связанные с морским транспортом (внутрисудовые коммуникации, связь типа «судно – берег» и «судно – судно»). Продолжается работа над новой функциональностью профессиональной мобильной радиосвязи (PMR).

Таким образом, 16-й релиз 3GPP будет акцентироваться на поддержке функций для вертикальных (отраслевых) применений и на общих улучшениях характеристик системы 5G, включая:

- 5G V2X – расширенные по сравнению с LTE V2X варианты использования;
- дополнения для промышленного IoT и URLLC – расширение возможностей 5G NR для полной замены проводной технологии Ethernet на промышленных предприятиях (чувствительная к временным задержкам сеть с высокой надежностью);
- работа 5G NR в безлицензионных диапазонах спектра – включает Licensed Assisted Access (LAA) и Standalone Unlicensed operation;
- общие улучшения характеристик системы 5G и дополнения – геопозиционирование, расширения MIMO, улучшение энергопотребления.

Финал 17-го релиза 3GPP запланирован на декабрь 2021 г., он сфокусирован на дальнейшем улучшении стандарта 5G в части энергоэффективности, на поддержке IoT/M2M-применений и др.

Таким образом, принципиально системная архитектура сетей 5G описана уже в релизе 15, в релизе 16 стандарт будет дополнен описаниями коммерческих применений 5G, интеграцией с другими видами сетей связи и расширенными возможностями RAN, а в релизе 17 никаких существенных изменений и дополнений уже не предусмотрено.

## Что осталось за скобками стандартизации 5G?

Несмотря на активную работу множества стандартизирующих организаций, в настоящее время стройная технико-экономическая концепция сетей 5G отсутствует.

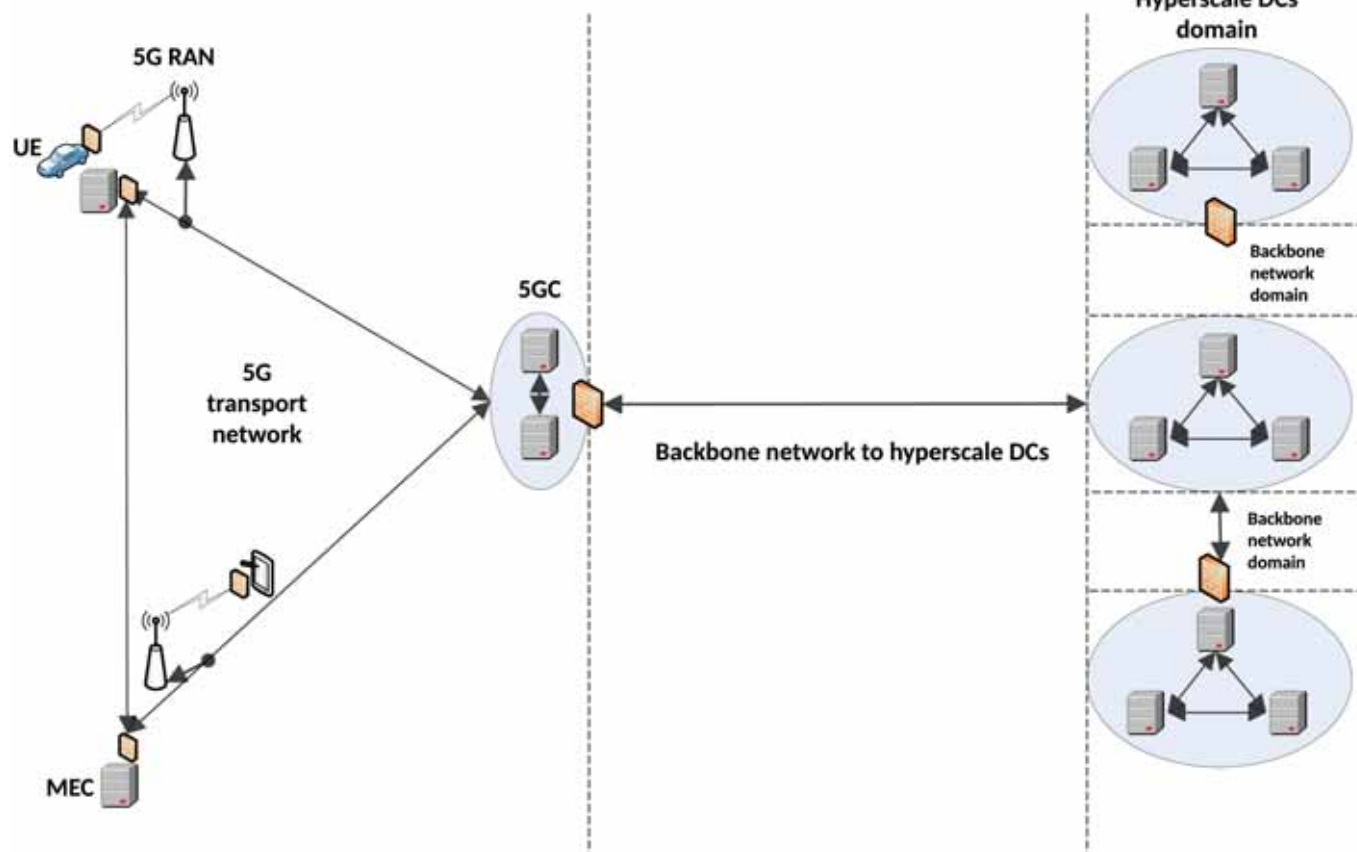


Рис. 2. Домены, необходимые для формирования сквозного слоя



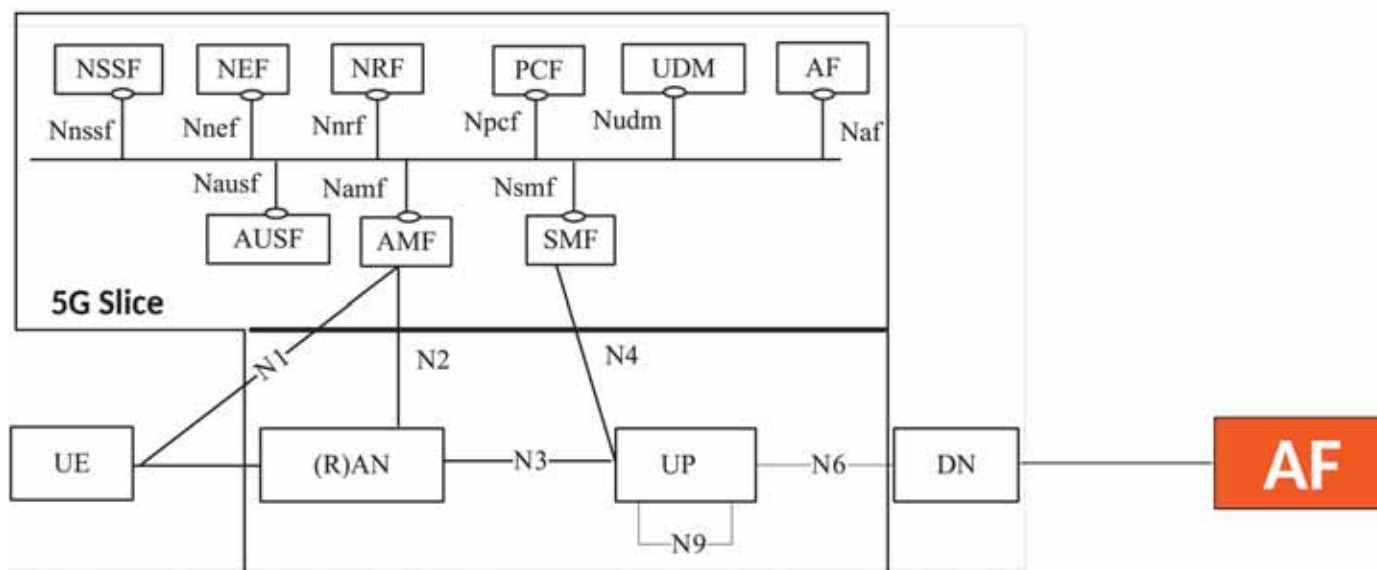


Рис. 3. Границы сети 5G в Data Plane и Control Plane

Концептуальная проблема состоит в том, что все известные на настоящий момент кейсы монетизации 5G – не только B2B/ B2B2X, но и B2C – подразумевают наличие сквозного сетевого слоя: логической сети, использующей ресурсы как доменов, отнесенных к 5G, так и других (рис. 2). Однако стандарты сети 5G описывают лишь часть доменов необходимых для формирования слоя, – радио- и транспортную сеть (рис. 3).

С коммерческой точки зрения концепция 5G, т. е. управление ограниченным набором сетевых параметров QoS в радиосети, не имеет самостоятельного значения и может быть монетизирована только как элемент более общей концепции сквозного управления неограниченной номенклатурой QoS в гетерогенных сетях связи, объединяющих территориально распределенные элементы киберфизических систем.

Другими словами, ни один из кейсов использования сетей 5G не может быть реализован в отсутствие других доменов, определяющих возможность реализации сквозного кастомизируемого E2E QoS между элементами распределенных приложений (киберфизических систем).

Проблема в том, что технические и экономические механизмы стыковки с другими доменами,

образующими сквозной слой, такими как домены дата-центров (ЦОД) и магистральных сетей, в стандарте 3GPP не описаны и не планируются к описанию.

Ввиду наличия прямых альтернатив 5G в виде существующих сегодня сетей связи с некастомизируемым QoS, условием успешной монетизации 5G является способность гетерогенной сети предоставить кастомизируемый QoS на более привлекательных, чем у прямых и косвенных альтернатив, экономических условиях.

Экономическая эффективность гетерогенной сети, элементом которой является сеть 5G, в свою очередь, зависит от способности системы к самооптимизации, т. е. к более оптимальному, чем в существующих сетях, использованию ресурсов – при условии предоставления своих ресурсов распределенным приложениям по требованию с различными QoS. Это означает, что ключевым элементом такой системы является несуществующий в настоящее время мета-оптимизатор, способный решать задачу сквозной оптимизации такой системы и взаимодействующий с системами оптимизационного управления доменов, включая домены, относимые к 5G.

Вероятно, именно лоскутность концепции 5G, не дающая ответа на вопрос о путях монетизации,

стала одной из причин того, что в 2019 г. Gartner поместил 5G на пик завышенных ожиданий и спрогнозировал уже в 2020 г. начало периода разочарования, преодоление которого, как правило, требует пересмотра как самой концепции, так и выбранных для ее реализации технологий.

Тем не менее в Gartner ожидают, что концепция 5G быстро пройдет этап коренной трансформации и достигнет плато продуктивности не позднее 2024 г. (от двух до пяти лет до плато продуктивности). Это означает, что оцениваемые экспертами Gartner как несостоятельные бизнес-кейсы 5G, реализованные в стандарте 3GPP в виде жестко заданных слоев и диапазонов значений метрик сетевого QoS (пропускная способность, задержка, джиттер и процент потери пакетов), потребуют быстрого пересмотра в пользу более гибкого и сложного управления формированием мультидоменных слоев, с ориентацией на реальные потребности провайдеров и пользователей приложений.

Отметим также, что, хотя сети 5G базируются на технологии SDN, непосредственно в доменах, относимых к 5G, – радио и транспорт SDN как технологии централизованного управления маршрутизацией трафика нет и быть не может ввиду

отсутствия собственно маршрутизации. SDN присутствует в 5G в специфическом виде – разделения функций контура передачи данных (Data Plane) и контура управления (Control Plane). По сути дела, это требования явного выделения компонентов, которые контролируют работу сети 5G, обрабатывают управляющий трафик и компоненты, которые пересылают данные пользователя по заданным правилам. При этом в 5G не должно быть компонентов, которые совмещают в себе оба уровня.

Другая базовая для сетей 5G технология – виртуализация сетевых функций, она также присутствует в стандарте 3GPP в урезанном виде. Там описана номенклатура сетевых функций, но полностью отсутствует описание механизмов управления жизненным циклом этих функций, которое вынесено за скобки стандарта 5G, оставляя только ссылки на стандарты ETSI для создания платформ управления и оркестрации виртуальными сетевыми сервисами (Management and Orchestration – MANO). В предполагаемом стандартом виде данная технология ускоряет развертывание различных сервисов, используемых в соответствии с потребностями предоставления услуг. При этом рекомендуется использовать подход Multi-cloud, который предполагает развертывание как минимум в двух категориях облаков: краевых (edge cloud) и центральных (central cloud).

Следствием всех этих недосказанностей является упомянутый выше принципиальный пробел: в релизе 15 3GPP полностью проигнорирована проблема оптимизации выделения ресурсов слоям. И это, пожалуй, наибольший пробел текущего релиза, поскольку исследования показывают, что в отсутствие такого механизма сеть даже с небольшим количеством слоев (несколько десятков) требует ресурсов в пятьдесят раз больше, чем обычная «неслоеная» сеть, при том же объеме трафика.

Наряду с проблемой координированного управления сетевыми и вычислительными ресурсами есть еще одна – предоставления QoS не только по сетевым, но и по другим метрикам, в первую очередь по такой критически важной для индустриальных применений 5G метрике, как уровень информационной безопасности. Тем не менее сама идея слоев предполагает возможность довольно красивого решения проблемы.

Введение дополнительных инстансов, реализующих функции безопасности, которые развертываются в специализированном слое обеспечения безопасности, позволит, в частности, использовать «белые списки», являющиеся основой концепции «нулевого доверия», избегая конфликтов между особенностями сетевого взаимодействия различных приложений, а также реализовать сквозную изоляцию слоев, т. е. отказаться от концепции физического DMZ в пользу логического проходящего по границе слоя, полностью изолированного от других слоев сети, в том числе на уровне пользовательских устройств. Новая динамическая гибкая модель управления предоставляет возможность переосмыслить функции безопасности, реализовав их по модели «security-as-a-service», кроме того, автоматизировать внутренние функции защиты сети 5G, которая также нуждается в продвинутых функциях безопасности.

Пока 3GPP в явном виде не заявило, в каком релизе ждать решения этих проблем и ждать ли вообще. Если не ждать, то, как минимум, необходим ответ на следующий вопрос: как разделять функциональные возможности управления между функциями контура управления, включаемыми в стандарт 5G, и функциями контура управления, выносимыми за его рамки? А это ведь весь стек функциональных возможностей OSS/BSS. Сети предыдущих поколений не имели выделенного контура управления, потому там этот вопрос вообще не стоял – управление было полностью сосредоточено в OSS/BSS

и реализовано преимущественно в виде исполняемых вручную процессов. В сетях 5G и других сетях с поддержкой технологий SDN и NFV часть функций управления находится в сети, а само управление максимально автоматизировано, и вопрос о распределении функций управления между ядром сети 5G и OSS/BSS, а также о механизмах их взаимодействия стоит крайне остро, причем взаимодействия автономного – без непосредственного участия человека в процессе.

## Провайдеры кросс-доменных слоев

По прогнозу Cisco, в 2021 г., когда будет возможен запуск первых полноценных 5G-сетей, доля трафика, не ассоциированного с распределенными приложениями (трафик «устройство – устройство»), составит менее 5% общего объема трафика во всех видах сетей связи. Это означает, что целевой рынок для провайдеров кросс-доменных слоев с E2E QoS, оптимизированных под требования распределенных приложений, составит 95% рынка услуг передачи данных в натуральном выражении в 2021 г., а традиционная сфера деятельности операторов сетей связи в виде передачи трафика между пользовательскими устройствами сузится до 5% рынка. Это, в свою очередь, ставит вопрос о необходимости разработки механизмов и технологий автономного междоменного взаимодействия, осуществляемого на базе экономических принципов.

Отметим, что вес домена 5G среди всех доменов, необходимых для формирования кросс-доменных слоев, значительно уступает весу других доменов. Так, по прогнозу Cisco, в 2021 г. объем трафика между распределенными приложениями, исполняемыми в дата-центрах, практически сравняется с объемом трафика, идущего от устройств в распределенные приложения (дата-центры). При этом межстоечный трафик уже в 2016 г. в десять раз превысил трафик от устройств

в дата-центры, что формирует «навес», определяющий опережающий рост трафика между дата-центрами по отношению к трафику от устройств к дата-центрам.

По мере удешевления магистральной емкости и развития технологий SDN и NFV доля трафика между дата-центрами, включая дата-центры «на краю» (MEC), будет расти опережающими темпами. По прогнозу J'son & Partners Consulting, уже в 2021 г. трафик для дата-центров с поддержкой SDN и NFV будет в четыре раза больше, чем приходящий в них от устройств. То есть основными доменами для кросс-доменной оптимизации будут домены гипер-дата-центров и магистральных сетей, используемых для передачи трафика между дата-центрами – на них будет приходиться до 80% трафика распределенных приложений (киберфизических систем). Кроме того, по прогнозу Cisco, несмотря на запуск сетей 5G, в 2022 г. на трафик мобильных устройств (в основном смартфонов) будет приходиться менее 50% IP-трафика, генерируемого устройствами.

Таким образом, значимость домена 5G RAN как объекта оптимизации составляет около 10% ресурсов всей кросс-доменной системы, элементом которой он является. Это означает, что если рассматривать домен 5G в качестве изолированной системы, а выбранные для него технологии, представлявшие его разработчикам как оптимальные, окажутся неоптимальными с точки зрения сквозной (взаимной) оптимизации всех доменов, изначальный выбор технологий для 5G, даже стандартизованный, может быть пересмотрен в пользу использования в доменах 5G технологий, более подходящих для кросс-доменной оптимизации, с учетом приоритета оптимизации доменов имеющих наибольший вес.

В связи с этим необходимо подчеркнуть, что в доменах гипер-дата-центров и связывающих их магистральных сетей в принципе не используется детальная стандартизация, продвигаемая 3GPP,

а применяется рамочная стандартизация, ведущую роль в которой играет Национальный институт стандартов при министерстве торговли США (NIST). Основные игроки в этих доменах – облачные и контент-провайдеры. По прогнозу Cisco, в 2021 г. 89% трафика приложений всех видов будет сконцентрировано в дата-центрах облачных провайдеров. А по прогнозу TeleGeography, в 2021 г. 73% всей магистральной емкости в мире будет находиться под управлением облачных и контент-провайдеров.

В отличие от операторов сетей мобильной связи деятельность облачных и контент-провайдеров в большинстве стран не подпадает под жесткое регулирование – фактически они являются саморегулируемыми организациями. Для них детальная стандартизация вообще не нужна, а предпочтительна лишь рамочная стандартизация, задающая общее понимание концепции, но не навязывающая конкретные технологии ее реализации.

Обладая наибольшими из всех игроков на рынке информационно-коммуникационных технологий бюджетами на НИОКР, облачные и контент-провайдеры в состоянии самостоятельно разработать и применить необходимые технологические решения, привлекая к этой работе и сторонних разработчиков в формате участия в открытых сообществах.

Можно предположить, что дальнейшее развитие событий в области стандартизации 5G как элемента более общей концепции кросс-доменных слоев будет выглядеть следующим образом: детальная стандартизация RAN и базовых функций управления RAN сохранится и будет последовательно развиваться 3GPP. При этом задачу создания систем кросс-доменного оптимизационного управления возьмут на себя облачные провайдеры в рамках таких сервисов, как, например, Amazon Virtual Private Cloud Wavelength, запущенный AWS в 2019 г. совместно с операторами сетей 5G Verizon и SK Telecom.

Такие системы не будут подлежать детальной стандартизации и фактически станут ключевым конкурентным преимуществом операторов нового вида – операторов кросс-доменных слоев. Взаимодействие с конечными потребителями и соответственно разработка и реализация бизнес-кейсов полностью перейдут провайдерам приложений (провайдерам функций кибер-физических систем). С ними будут взаимодействовать провайдеры кросс-доменных слоев, предлагая оптимизированные под требования конкретных приложений виртуализованные вычислительные и сетевые ресурсы с E2E QoS, включая не только сетевые, но и расширенные метрики, например метрики безопасности.

Операторы сетей 5G перейдут в кооперацию третьего уровня, предоставляя ресурсы RAN и транспортной сети провайдерам кросс-доменных слоев по требованию с измеримым и управляемым (гибко кастомизируемым) QoS. При этом можно ожидать, что разработка функций оптимизационного управления RAN также может перейти в сферу ответственности провайдеров кросс-доменных слоев.

## Степень готовности

Таким образом, можно оценить уровень стандартизации и готовности к использованию технологий 5G как высокий в части RAN и базовых функций управления ресурсами RAN и близкий к нулевому – для бизнес-кейсов применения 5G. Вероятно, и в будущем детальная стандартизация будет ограничена доменом RAN.

Для других доменов, включая транспортную сеть для 5G RAN и граничные вычисления (Mobile Edge Computing – MEC), будет применяться рамочная стандартизация, требующая от провайдеров ресурсов соответствующих доменов значительных инвестиций в НИОКР, тестирование и отработку технологий и обязательного участия в глобальных открытых партнерствах разработчиков технологий. ■