

Индекс УДК 621.396.93:621.391.8

Код ГРНТИ 28.23.21

DOI: 10.22204/2410-4639-2026-129-01-25-42

**А.А. КАРПУК,
П.А. КОХНО***

Модели показателей и параметров качества услуг сотовой связи

В статье определены показатели и параметры качества услуг в сетях стандартов 4G и 5G. Качество обслуживания пользователя зависит от показателей работы самой сети, а также от внешних факторов. Сетевой сервис сети связи описывается параметрами работы оборудования связи на трёх уровнях модели OSI. По своей функциональности значение каждого показателя является компромиссной функцией между обеспечением качества услуги связи и затратами на это обеспечение. Описанные показатели качества относятся к любым сетям связи, в том числе к сетям с коммутацией каналов и коммутацией пакетов. Количественные (объёмные) показатели разделены по зонам ответственности между оператором и пользователем услуг связи. Предложена четырёхуровневая модель параметров качества обслуживания.

Ключевые слова: сотовая связь, показатели, параметры, услуги, модели, трафик, сетевой сервис, стандарты, коммутация каналов, коммутация пакетов

Введение

В своём послании Федеральному собранию 1 декабря 2016 г. Президент РФ предложил «запустить масштабную системную программу развития экономики» [1]. Следом за предложением Президента РФ в декабре 2016 г. была опубликована Стратегия развития информационного общества в России на 2017–2030 годы, где впервые даётся определение цифровой экономики как деятельности,

«в которой ключевыми факторами производства являются данные, представленные в цифровом виде, а их обработка и использование в больших объёмах, в том числе их образования, позволяет по сравнению с традиционными формами хозяйствования существенно повысить эффективность, качество и производительность в различных видах производства при хранении, продаже, доставке и потребления товаров и услуг» [2,

* **Карпук Анатолий Алексеевич** — доцент, кандидат технических наук, профессор кафедры программного обеспечения сетей телекоммуникаций Белорусской государственной академии связи.

E-mail: a_karpuk@mail.ru

Кохно Павел Антонович — профессор, доктор экономических наук, заместитель директора по науке Автономной некоммерческой организации «Содействие и развитие инноваций в научно-производственной сфере» г. Москва, АНО «Содействие и развитие инноваций в научно-производственной сфере».

E-mail: pavelkohn@mail.ru

с. 3/17]. Стратегия формулирует понятие «информационное общество» следующим образом: «информационное общество — общество, в котором информация и уровень её применения и доступности кардинальным образом влияют на экономические и социокультурные условия жизни граждан» [2, с. 2/17]. То есть, это индустриальное общество в новой исторической фазе развития цивилизации, в которой главными производствами являются информация и её высшая форма знания.

Для реализации Стратегии, утверждённой Указом Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203, и программы «Цифровая экономика Российской Федерации», принятой распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р, перед отечественными промышленными предприятиями, большинство которых сосредоточено в оборонно-промышленном комплексе, стоит задача развития методов и механизмов их функционирования в условиях внедрения цифровых технологий в процессы производства и управления.

Кроме того, Основы государственной политики в области развития оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу, утверждённые Президентом Российской Федерации от 23 февраля 2017 г. № 91, и Основы военно-технической политики Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу, утверждённые Указом Президента Российской Федерации от 24 апреля 2016 г., предусматривают в числе основных задач создание информационно-аналитических и справочных систем на основе современных цифровых технологий, требующих развития существующих и создания новых механизмов функционирования предприятий при внедрении цифровых технологий в процессы их постоянного взаимодействия с вышестоящими органами управления. Поэтому именно сейчас нужно включаться в общий информационный и технологический поток обновле-

ний и стараться эффективно их применить. В России есть возможности для совершенствования технологического прогресса во многих сферах деятельности. Сейчас России важно выстроить собственные приоритетные ниши для цифровых инноваций, где с наименьшими затратами можно не только добиться самостоятельности на внутреннем рынке, но и стать признанным мировым лидером, в том числе в цифровом оборонном производстве. Одна из приоритетных ниш в области цифровых инноваций — это последовательное развитие мобильной связи.

Основная часть

С начала 2000-х годов начался запуск сетей сотовой связи третьего поколения (3G) стандарта UMTS с широкополосным кодовым доступом с базовыми радиоинтерфейсами WCDMA и HSPA. Эти сети изначально проектировались для передачи мультимедиа, видео и высокоскоростного Интернета. Первая в мире сеть сотовой связи стандарта UMTS была запущена в 2001 г. фирмой NTT DoCoMo в Японии. В 2010-х годах начался массовый запуск сетей сотовой связи четвёртого поколения (4G) стандарта LTE с полностью пакетным обменом данными по протоколу IP. Первая в мире коммерческая сеть сотовой связи стандарта LTE была запущена в декабре 2009 г. фирмой TeliaSonera в Швеции и Норвегии. Первым российским оператором, запустившим коммерческую сеть стандарта LTE в декабре 2012 г. в Москве, был МегаФон. В июне 2018 г. компания Elisa (Финляндия) первой в мире запустила в городах Тампере (Финляндия) и Таллинн (Эстония) коммерческую сеть сотовой связи пятого поколения (5G) стандарта IMT-2020. В марте 2021 г. оператор МТС запустил в Москве первую в России «пилотную» 5G-зону, доступную обычным пользователям с поддержкой 5G-смартфонов [3, с. 7].

В англоязычной литературе понятие «качество обслуживания в сети связи» имеет устоявшуюся аббревиатуру QoS (Quality of Service). Определение терминов, отно-

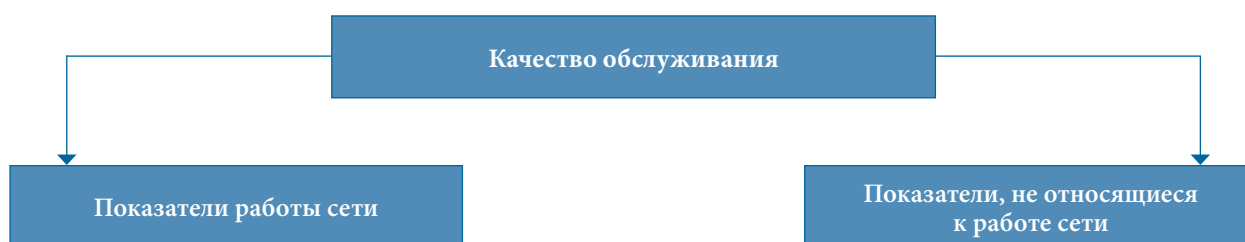


Рис. 1. Общий состав показателей качества обслуживания

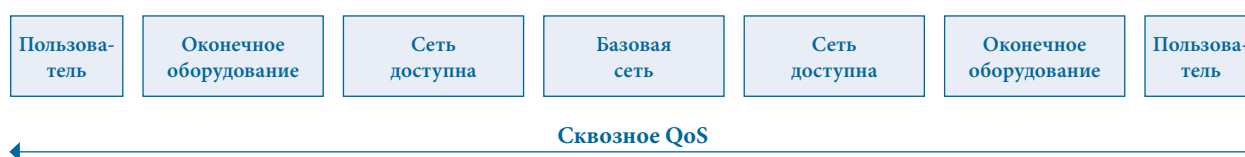


Рис. 2. Схематическое представление компонентов сквозного QoS

сящихся к качеству обслуживания в сетях связи, приведено в Рекомендации МСЭ-Т E.800 [4], первая редакция которой была опубликована в 1988 г., а последняя редакция — в 2008 г.

Качество обслуживания пользователя при предоставлении услуги связи в общем случае определяется не только показателями работы самой сети, но и зависит от внешних факторов, схематически это представлено на рис. 1.

Часть показателей качества обслуживания характеризует качество работы технических элементов сети связи, и при этом присутствуют показатели, которые не относятся непосредственно к работе сети, но характеризуют качество обслуживания пользователя услуги связи со стороны оператора связи. В Рекомендации МСЭ-Т E.800 показано, что QoS на пути передачи трафика между пользователями услуги связи определяется вкладами сетевых компонентов. Схематическое представление компонентов QoS приведено на рис. 2.

В связи с большим количеством компонентов сети связи, задействованных в обеспечении качества услуги связи, в Рекомендации МСЭ X.140 [5] выделены составляющие QoS, зависящие непосредственно от качества работы сети связи, качества работы оконечного сетевого оборудования

и установленного на нём ПО, и отделена субъективная составляющая пользовательской оценки качества услуги связи.

Разделение оценок QoS на составляющие в зависимости от уровня модели OSI, на котором происходит обеспечение QoS, представлено на рис. 3.

Сетевой сервис сети связи описывается параметрами работы оборудования связи на 1–3 уровнях модели OSI. Для исключения путаницы в понятиях QoS в Рекомендации ITU-T I.350 [6] и Техническом отчёте ETSI TR 102 643 [7] введены уточняющие наименования для оценок качества в соответствии с границами их действия:

- качество функционирования сети NP (Network Performance) — как способность сети или её участка/сегмента обеспечить выполнение функций связи, т.е. обеспечивать сетевой сервис на 1–3 уровнях модели OSI;
- качество предоставления услуги/сервиса QoS (Quality of Service) — характеристика телекоммуникационного сервиса как степень удовлетворения пользователя услугой связи;
- качество восприятия услуги QoE (Quality of Experience) — результат суждения о восприятии общей сущности относительно желаемого восприятия прикладного сервиса с точки зрения конечного

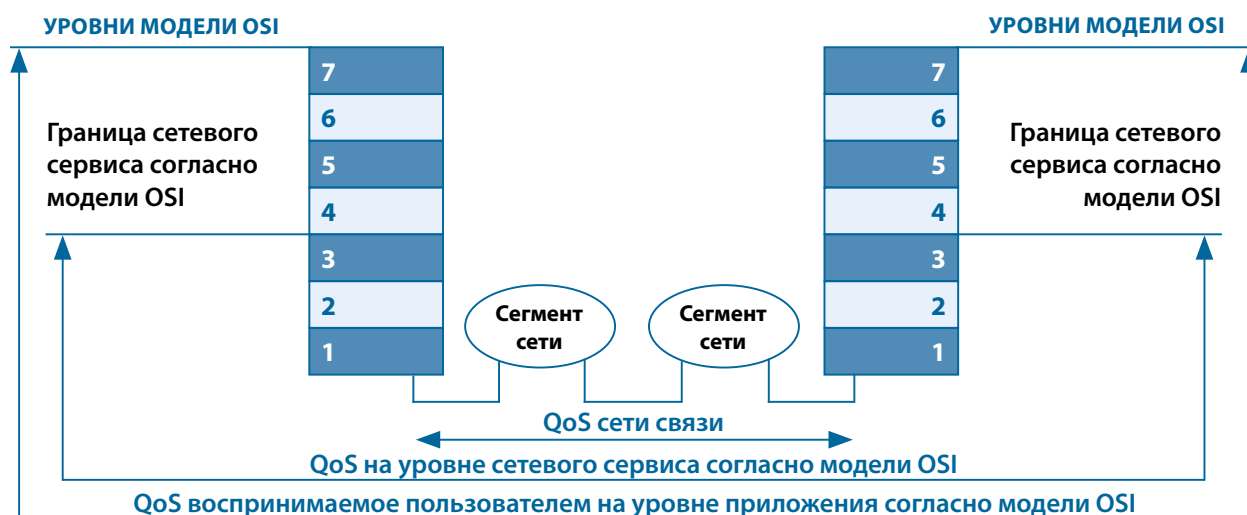


Рис. 3. Разделение показателей QoS по уровням модели OSI

пользователя. Области действия групп показателей качества услуг связи показаны на рис. 4.

По своей функциональности значение каждого показателя QoE является компромиссной функцией между обеспечением качества услуги связи и затратами на это обеспечение. Взаимосвязь значений QoS и QoE с экономическими показателями работы сети связи подтверждает важность вопроса обеспечения QoS для услуг связи на сети оператора. В современных сетях связи оценка качества услуг связи производится с использованием сквозной оценки качества, представленной на рис. 5.

Распределение показателей NP, QoS и QoE по уровням оценки качества услуг связи показано на рис. 6. Описанные показатели качества относятся к любым сетям связи, в том числе к сетям с коммутацией каналов и коммутацией пакетов. Сети сотовой подвижной электросвязи стандартов LTE и IMT-2020 (5G) относятся к сетям с коммутацией пакетов. Принципиальные отличия сетей с коммутацией пакетов от сетей с коммутацией каналов приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что для сетей, построенных по технологии коммутации пакетов, требуются показатели качества, ко-

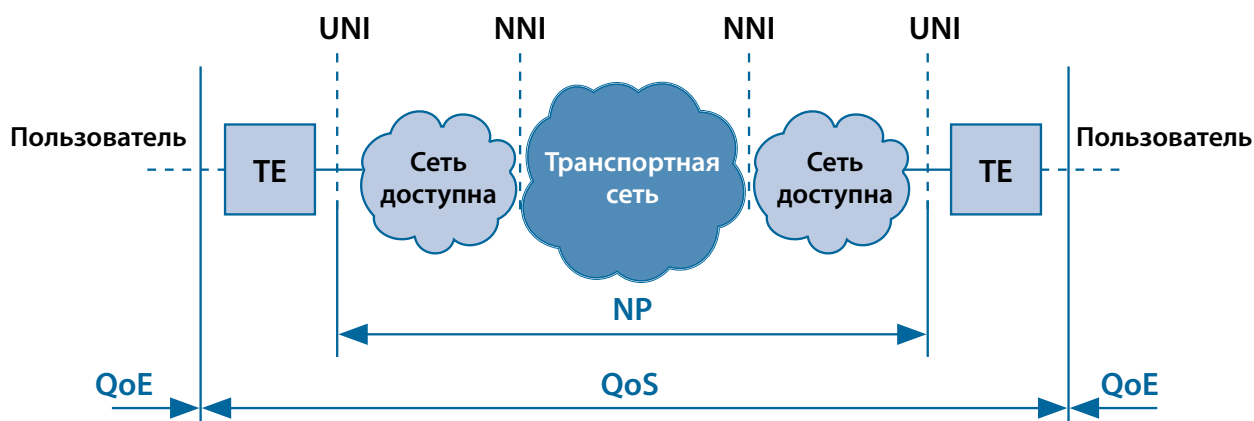


Рис. 4. Области действия групп показателей качества услуг связи

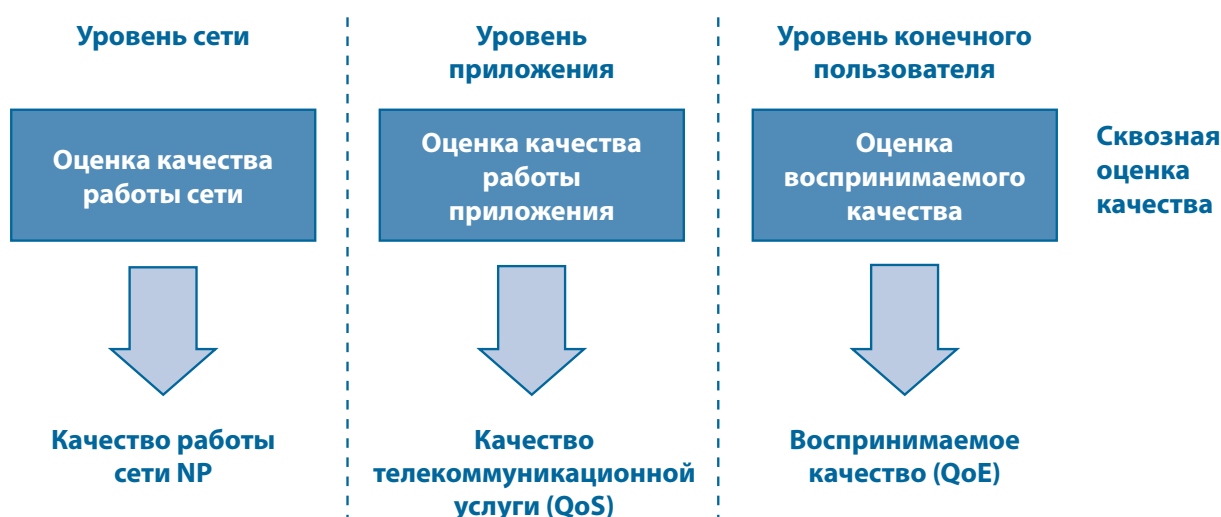


Рис. 5. Оценка сквозного качества услуги связи

торые описывают только процесс передачи трафика. Для сетей, построенных по технологии коммутации каналов, дополнительно требуются показатели, описывающие процесс установления соединений и разбора соединения после передачи данных. При этом для сетей, построенных по технологии коммутации пакетов, при описании процесса передачи данных требуются показатели, отражающие качество работы пакетных очередей/буферов и влияние возможно-

сти изменения маршрута передачи пакетов данных от отправителя к получателю.

Для сетей с коммутацией пакетов активное сетевое оборудование разделяется на 2 основные категории с учётом выполнения ими функций по передаче пакетных данных согласно модели OSI: коммутаторы и маршрутизаторы. Коммутаторы и маршрутизаторы работают на 2 и 3 уровнях модели OSI с использованием соответствующих протоколов передачи данных. С учётом того,

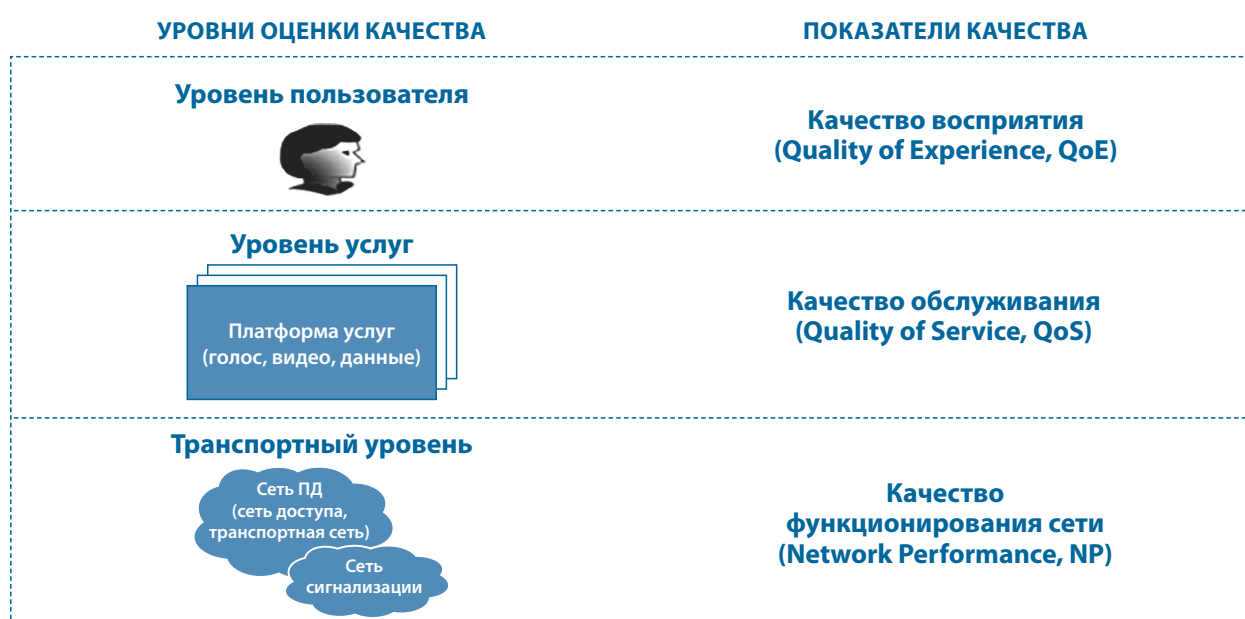


Рис. 6. Распределение показателей качества услуг связи по технологическим системам

Таблица 1

Отличия сетей с коммутацией пакетов от сетей с коммутацией каналов

Сетевая функция	Сети с коммутацией каналов	Сети с коммутацией пакетов
Установление соединения	Необходимо предварительно устанавливать соединение	Отсутствует этап установления соединения (дейтаграммный способ)
Порядок выделения ресурсов	Ресурсы предоставляются в соответствии с порядком поступления запроса	Ресурсы предоставляются одновременно по всем запросам при условии, что требуемая для них суммарная полоса пропускания не превосходит возможности канала связи
Передача адреса получателя	Адрес требуется только на этапе установления соединения	Адрес и другая служебная информация передаются с каждым пакетом
Доступность сетевого обслуживания для пользователя	Сеть может отказать пользователю в установлении соединения	Сеть всегда готова принять данные от пользователя
Гарантия пропускной способности	Гарантированная пропускная способность	В общем случае пропускная способность сети для абонентов заранее неизвестна, возможно гарантированное выделение полосы пропускания
Процедура выделения полосы пропускания для трафика пользователя	Статическая	Динамическая (в общем случае), с возможностью статического выделения
Маршрут передачи пакетного трафика	Данные передаются согласно маршруту прокладки канала внутри сети связи	Решение о дальнейшем маршруте передачи пакета данных принимается отдельно для каждой точки коммутации трафика на пути от отправителя к получателю, в рамках передачи одного информационного сообщения, состоящего из нескольких пакетов данных, каждый пакет может быть передан различным путём
Задержка в передаче трафика в канале связи	Задержка определяется временем прохождения электромагнитного сигнала по каналу связи	Величина задержки зависит от задержки в пакетных очередях/буферах на узлах сети и носит случайный характер
Потери трафика на узлах сети	Практически отсутствуют	Возможны потери данных из-за переполнения пакетных очередей буферов
Эффективность использования канала связи	Низкая (в общем случае)	Высокая
Наилучший тип трафика	С фиксированной скоростью, при передаче пульсирующего трафика значительная часть зарезервированной пропускной способности каналов не используется	Пульсирующий, возможно выделение полосы под трафик с фиксированной скоростью
Приоритетность трафика	Отсутствует	Путём установления признака приоритета и организации различных буферов/очередей для трафика с различным значением признака приоритета
Завершение соединения	Происходит «разбор» соединения с освобождением ресурсов сети	Не требуется
Обеспечение соединения другому набору пользователей услуг связи	Передача высвобожденных сетевых ресурсов для организации соединения в интересах других пользователей услуг связи	Возможно установление соединения в «параллельном» режиме при наличии сетевых ресурсов, удовлетворяющих требованиям запроса пользователя, или динамическое перераспределение сетевых ресурсов при отсутствии жёстких требований к сетевым ресурсам со стороны уже установленных соединений

что показатели NP относятся к элементу сетевого соединения (являются его атрибутами), оценка NP должна производиться на уровне работы сетевого элемента в сети

передачи данных. Ввиду того, что основными сетевыми элементами являются коммутаторы и маршрутизаторы, оценка качества передачи пакетов данных в сети

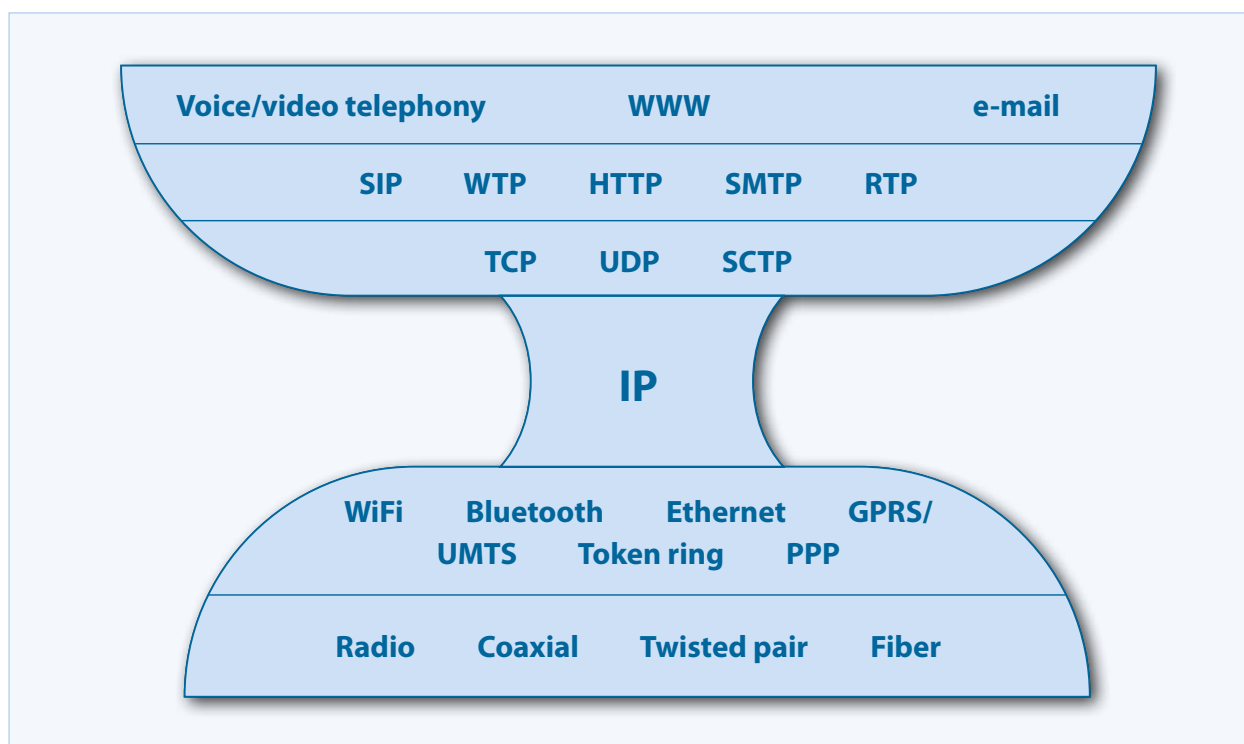


Рис. 7. Иерархия протоколов сети с коммутацией пакетов

с коммутацией пакетов должна проводиться для маршрутизаторов на сетевом уровне и для коммутаторов на канальном уровне.

В настоящее время наиболее распространёнными протоколами для обеспечения передачи пакетов данных в сетях с коммутацией пакетов стали протоколы IP (на сетевом уровне) и Ethernet (на канальном уровне). При этом в иерархии модели OSI протокол IP занимает ключевое положение в плане обеспечения обмена данными между отправителем и получателем, т.к. передача пакетов данных происходит на основании адресной информации, содержащейся в IP-заголовке.

Передача пакетов данных на основании адресной информации канального уровня осуществляется только в рамках широко-вещательных доменов и относится к технологии локальных сетей, которые являются частным случаем при построении сегментов глобальных сетей связи. Иллюстрация ключевого положения протокола IP и его связующей роли представлена

на рис. 7 в виде так называемой «модели песочных часов» (HourGlass-model) [8].

Исходя из ключевого положения протокола IP в Рекомендации ITU-T Y.1540 [9] разработаны показатели QoS и NP для сетей передачи данных, построенных с использованием IP-протокола. Показатели NP условно делятся на 2 категории: качественные и количественные (объёмные).

К качественным показателям NP для контроля качества передачи данных между отправителем и получателем относятся:

- величина времени задержки при передаче пакета IPTD (IP-packet Transfer Delay);
- вариация величины времени задержки (джиттер) передачи пакетов IPDV (IP-packet Delay Variation);
- уровень ошибок (доля переданных с ошибкой) пакетов IPER (IP-packet Error Ratio);
- уровень потерь (доля потерянных) пакетов IPLR (IP-packet Loss Ratio);
- уровень нарушения порядка (доля с нарушением порядка следования) пакетов IPRR (IP-packet Reordering Ratio);

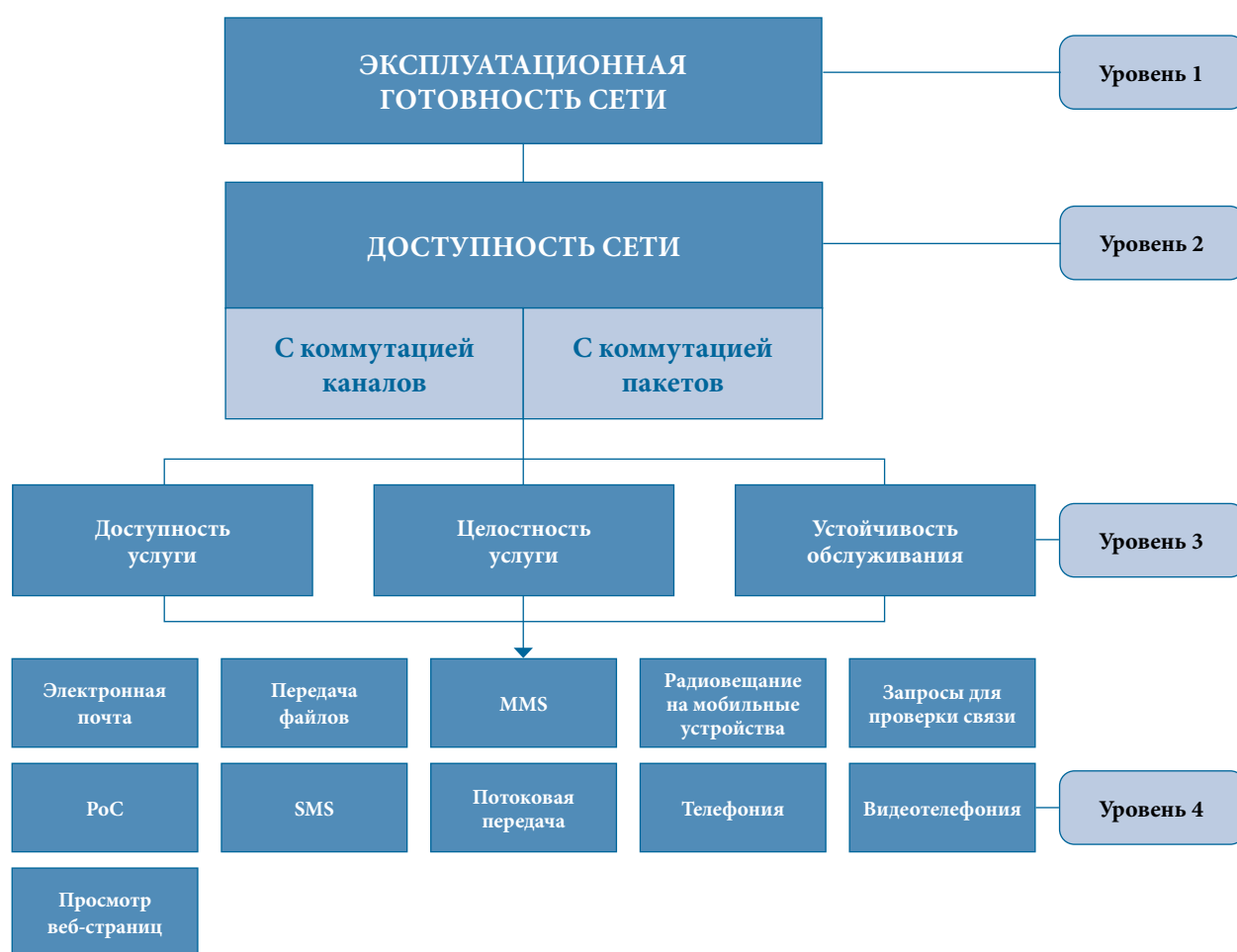


Рис. 8. Модель параметров качества обслуживания

- уровень дублирования пакетов IPDupR (IP-packet Duplicate Ratio);
- уровень сброса (доля сброшенных/отказанных в обработке) на сетевом устройстве/элементе пакетов IPDR (IP-packet Discard Ratio).

В качестве количественных (объёмных) показателей NP при передаче данных между двумя соседними сетевыми устройствами, обеспечивающими передачу данных на сетевом уровне модели OSI, рассматриваются:

- ёмкость IP-секции (IP-layer Section Capacity) как наибольшее количество бит, которое может быть передано на сетевом уровне за определённый интервал времени, достаточно часто именуется как полоса пропускания сетевого соединения на сетевом уровне;

- используемая ёмкость IP-секции (IP-layer Used Section Capacity) как количество бит, которое передано на сетевом уровне за определённый интервал времени, достаточно часто именуется как интенсивность пакетного трафика на определённом интервале времени;
- уровень загрузки IP-секции (IP-layer Section Utilization) как относительная величина, равная отношению используемой ёмкости IP-секции к ёмкости IP-секции;
- пакетная скорость при передаче IP-пакетов (IP Packet Rate — IPPR);
- байтовая скорость при передаче IP-пакетов (Octet-based IP packet Rate — IPOR).

Следует иметь в виду, что количественные (объёмные) показатели NP разделены

по зонам ответственности между оператором и пользователем услуг связи. Оператор связи должен гарантировать полосу пропускания сетевого соединения (ёмкость IP-секции). Пользователь услуги связи при передаче или получении пакетного трафика не должен допускать, чтобы интенсивность пакетного трафика (используемая ёмкость IP-секции) превосходила полосу пропускания сетевого соединения. Объём трафика, превышающий ёмкость секции, может быть сброшен или задержан (включая изменение поля приоритетов обработки пакетов данных) со стороны сети оператора связи без отнесения данных потерь на оценку качества работы сетевого соединения [10].

В Рекомендации ITU-T E.804 [11] и Технической спецификации ETSI TS 102 250-2 [12] приводится четырехуровневая модель параметров качества услуг СПЭ (рис. 8).

В модель входят:

- параметры эксплуатационной готовности сети (уровень 1);
- параметры доступности сети (уровень 2);
- параметры доступности услуги, целостности услуги и устойчивости обслуживания (уровень 3);
- параметры качества каждой услуги (уровень 4).

Эксплуатационная готовность сети определяет QoS с точки зрения поставщика, а не потребителя услуги. Доступность сети с точки зрения потребителя услуги является основным требованием относительно всех прочих аспектов и параметров QoS.

Уровень 4 – это уровень разнообразных услуг, их качество определяется ключевыми показателями эффективности QoS, относящимися к конкретным услугам. Когда параметры QoS уровней 1–3 не поддерживаются на стабильно высоком уровне, бесполезно пытаться оценивать QoS какой-либо услуги, поскольку необходимые предварительные условия не соблюдены, и значимость полученных показателей QoS будет близка к нулю.

Разделение на сети с коммутацией каналов и коммутацией пакетов – наследие технологий 2G и 3G. Некоторые из услуг на уровне 4 на самом деле зависят друг от друга или относятся к разным группам. Есть услуги-носители, такие как базовый протокол Интернет (IP), и комбинированные услуги, в которых используется одна или несколько подобных услуг-носителей: например, в составе услуги передачи мультимедийных сообщений (MMS) для уведомления используется услуга передачи коротких сообщений (SMS), которая фактически является услугой для конечного потребителя, а собственно данные передаются в виде пакетов. Услуга, имеющая тот же результат для конечных пользователей, например ОТТ-чат с вложением файлов, использует только базовую пакетную передачу данных.

Важно отметить некоторые аспекты реализации обеспечения QoS в сетях сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS. В сетях UMTS используются 4 различных класса трафика пакетов (т.е. 4 класса QoS):

- разговорный класс, предназначенный для услуг с требованиями к низкой задержке и сохраняемой разнице во времени между различными IP-пакетами. Эта схема нацелена на услуги операторского класса в режиме реального времени по IP, такие как VoIP, видеотелефония на основе VoIP и инструменты для проведения конференций на основе VoIP;
- потоковый класс, предназначенный для трафика, который требует сохранения разницы во времени между IP-пакетами в данном потоке, но не предъявляет определённых строгих требований к низкой задержке передачи. Следовательно, этот класс подходит для потоковых сервисов (аудио и видео);
- интерактивный класс, предназначенный для услуг не в реальном времени, имеющий определённые требования к задержке передачи (однако не такие строгие, как для услуг в реальном времени), основанные на использовании запроса-ответа конечным пользователем. Этот класс относится к интерактивным служ-

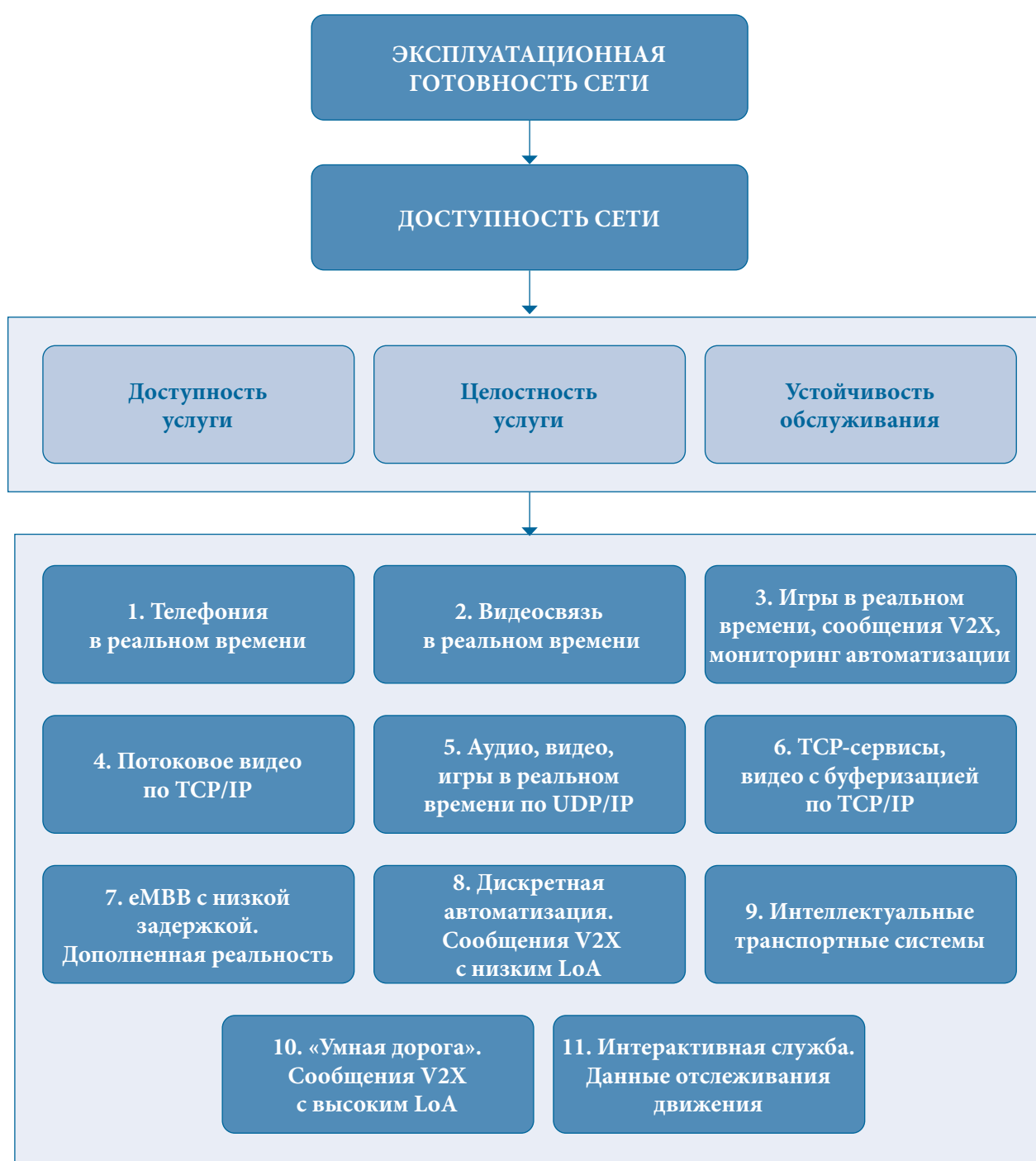


Рис. 9. Модель параметров качества в сетях LTE и 5G

бам/приложениям клиент-сервер, таким как Интернет, поиск в базе данных и т.д. Ключевыми параметрами QoS являются низкое время задержки приема-передачи и низкий уровень битовых ошибок;

- фоновый класс, предназначенный для служб, которые могут задерживать па-

кеты, таких как электронная почта, загрузка файлов и т.д. Этот класс обслуживается с наименьшим приоритетом.

Кроме того, классы QoS в UMTS можно дополнительно дифференцировать по приоритету распределения и удержания параметров (ARP) и приоритету обработки

трафика (ТНР). На практике в мобильных сетях 3G используются не все классы QoS, поскольку обычно телефония предоставляется через коммутацию каналов, и только услуга доступа в Интернет через мобильную сеть основана на IP-соединении, к которому относятся классы QoS. Однако они существуют как средства для дифференциации QoS, когда оператор связи предоставляет различные услуги операторского класса, такие как VoIP с гарантиями QoS или услуги потокового видео с гарантиями QoS [3, с. 18-19].

Модель параметров качества услуг в сетях LTE и 5G показана на рис. 9.

Параметры и показатели эксплуатационной готовности сети, доступности сети, доступности каждой услуги, целостности каждой услуги и устойчивости обслуживания в сетях LTE и 5G совпадают. Совпадают также нормы на значения показателей и параметров. Параметры и показатели первых шести услуг четвертого уровня также совпадают для сетей LTE и 5G, последние 6 услуг четвертого уровня относятся только к сетям 5G [3, с. 65].

В соответствии с авторской теорией качества [13] для устранения недостатков в работе отдельных сот сетей операторы должны иметь технические и программные средства анализа, классификации и прогнозирования состояния каждой работающей соты как нормальное (Active), деградирующее (Degraded) и критически деградирующее (Fault). При этом должны быть востребованы накопленные знания о параметрах и показателях качества работы сот, и происходит процесс их создания и распространения с наименьшими издержками [14].

Заключение

На основе анализа услуг сетей сотовой связи стандартов LTE и IMT-2020 (5G) и технических особенностей сетей стандартов LTE и 5G, влияющих на качество услуг, в статье построены модели показателей и параметров качества услуг сотовой связи стандартов LTE и 5G.

В результате анализа международного опыта определения требований к параметрам и показателям качества, определяющим зону уверенного приёма, и услуг сетей сотовой связи для различных сервисов в сетях LTE и 5G установлено следующее:

- в международных технических нормативно-правовых актах качество услуг связи рассматривается на трёх уровнях: качество функционирования сети NP (Network Performance) на транспортном уровне, качество предоставления услуги/сервиса QoS (Quality of Service) на уровне услуг (приложений) и качество восприятия услуги QoE (Quality of Experience) на уровне конечного пользователя;
- сквозная оценка качества услуги определяется оценками качества услуги на каждом из трёх перечисленных уровней;
- для сетей LTE и 5G, построенных по технологии коммутации пакетов, требуются показатели качества, которые описывают только процесс передачи трафика, отражающие качество работы пакетных очередей/буферов и влияние возможности изменения маршрута передачи пакетов данных от отправителя к получателю;
- в Рекомендациях МСЭ и документах ETSI установлены качественные и количественные показатели QoS и NP для сетей передачи данных, построенных с использованием IP-протокола. К качественным показателям относятся величина времени задержки при передаче пакета, вариация величины времени задержки (джиттер) передачи пакетов, уровень ошибок (доля переданных с ошибкой) пакетов, уровень потерь (доля потерянных) пакетов, уровень нарушения порядка (доля с нарушением порядка следования) пакетов, уровень дублирования пакетов, уровень сброса (доля сброшенных/отказанных в обработке) на сетевом устройстве/элементе пакетов. К количественным

показателям относятся уровень загрузки сети, пакетная и байтовая скорость передачи;

- в Рекомендациях МСЭ и документах ETSI предложено рассматривать 4 уровня показателей качества услуг сетей со-

товой связи: параметры эксплуатационной готовности сети, параметры доступности сети, параметры доступности услуги, целостности услуги и устойчивости обслуживания и параметры качества каждой услуги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации от 01.12.2016 [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207978/
2. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы: Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--h1apes.xn--p1ai/storage/uploads/2022/11/28/6384c39e5cd0e---9--2017--N-203-----.pdf>
3. Карпук А.А., Кохно П.А. Качественный эликсир экономики: монография. М.: Изд. дом «Граница», 2026. 212 с.
4. Рекомендация МСЭ-Т E.800. Определение терминов, относящихся к качеству обслуживания [Электронный ресурс]. МСЭ, 2008. 32 с. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I>
5. Recommendation ITU X.140. General Quality of Service Parameters for Communication via Public Data Networks [Electronic resource]. ITU, 1992. 22 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-X.140-199209-I/en>
6. Recommendation ITU-T I.350. General Aspect of Quality of Service and Network Performance in Digital Networks, including ISDNs [Electronic resource]. ITU, 1993. 17 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-I.350-199303-I/en>
7. Technical Report ETSI TR 102 643 V1.0.2 (2010-01). Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services [Electronic resource]. ETSI, 2010. 37 p. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102643/01.00.02_60/tr_102643v010002p.pdf
8. Akhshabi S., Dovrolis C. The Evolution of Layered Protocol Stacks Leads to an Hourglass-Shaped Architecture // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2011. Vol. 41, iss. 4. P. 206–217.
9. Recommendation ITU-T Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters [Electronic resource]. ITU, 2019. 102 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540-201912-I/en>
10. Recommendation ITU-T Y.1543. Measurements in Internet protocol networks for inter-domain performance assessment [Electronic resource]. ITU, 2018. 48 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1543-201806-I/en>
11. Recommendation ITU-T E.804. QoS aspects for popular services in mobile networks [Electronic resource]. ITU, 2014. 446 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.804-201402-I/en>
12. Technical Specification ETSI TS 102 250-2. Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation [Electronic resource]. ETSI, 2015. 258 p. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102200_102299/10225002/02.04.01_60/ts_10225002v020401p.pdf
13. Кохно П.А., Кохно А.П., Артемьев А.А. Теория качества: монография / отв. ред. П.А. Кохно. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2025. 243 с.
14. Кохно П.А., Кохно А.П., Кохно В.О. Мировая конкуренция: монография / отв. ред. П.А. Кохно. М.: Изд. дом «Граница», 2026. 208 с.

Models of Indicators and Parameters of Quality of Cellular Services

Anatoli Alekseevich Karpuk — Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Telecommunications Network Software, Belarusian State Academy of Communications.
E-mail: a_karpuk@mail.ru

Pavel Antonovich Kokhno — Professor, Doctor of Economics, Deputy Director for Research at the Autonomous Nonprofit Organization “Promotion and Development of Innovations in the Scientific and Industrial Sphere,” Moscow, Autonomous Nonprofit Organization “Promotion and Development of Innovations in the Scientific and Industrial Sphere”.
E-mail: pavelkohno@mail.ru

The article defines indicators and parameters of quality of services in networks of standards 4G and 5G. The quality of user service depends on the performance of the network itself, as well as external factors. The network service of the communication network is described by the parameters of the communication equipment at the three levels of the OSI model. In terms of functionality, the value of each indicator is a compromise function between ensuring the quality of the communication service and the costs of this provision. The described quality indicators refer to any communication networks, including networks with circuit switching and packet switching. Quantitative (volume) indicators are divided by areas of responsibility between the operator and the user of communication services. A four-level model of service quality parameters is proposed.

Keywords: cellular communication, indicators, parameters, services, models, traffic, network service, standards, channel switching, packet switching

REFERENCES

1. Poslanie Prezidenta Rossiyskoy Federatsii Federalnomu Sobraniyu Rossiyskoy Federatsii ot 01.12.2016 [Electronic resource]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207978/ (in Russian).
2. O Strategii razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii na 2017–2030 gody: Ukaz Prezidenta RF ot 09.05.2017 No 203 [Electronic resource]. URL: <https://xn--h1apes.xn--plai/storage/uploads/2022/11/28/6384c39e5cd0e---9--2017--N-203----.pdf> (in Russian).
3. Karpuk A.A., Kokhno P.A. Kachestvennyy eliksir ekonomiki: monografiya. M.: Izd. dom «Granitsa», 2026. 212 s. (in Russian).
4. Rekomendatsiya MSE-T E.800. Opredelenie terminov, otnosyashchikhsya k kachestvu obsluzhivaniya [Electronic resource]. MSE, 2008. 32 s. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I> (in Russian).
5. Recommendation ITU X.140. General Quality of Service Parameters for Communication via Public Data Networks [Electronic resource]. ITU, 1992. 22 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-X.140-199209-I/en>
6. Recommendation ITU-T I.350. General Aspect of Quality of Service and Network Performance in Digital Networks, including ISDNs [Electronic resource]. ITU, 1993. 17 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-I.350-199303-I/en>
7. Technical Report ETSI TR 102 643 V1.0.2 (2010-01). Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services [Electronic resource]. ETSI, 2010. 37 p. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102643/01.00.02_60/tr_102643v010002p.pdf

8. Akhshabi S., Dovrolis C. The Evolution of Layered Protocol Stacks Leads to an Hourglass-Shaped Architecture // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2011. Vol. 41, iss. 4. P. 206–217.
9. Recommendation ITU-T Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters [Electronic resource]. ITU, 2019. 102 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540-201912-I/en>
10. Recommendation ITU-T Y.1543. Measurements in Internet protocol networks for inter-domain performance assessment [Electronic resource]. ITU, 2018. 48 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1543-201806-I/en>
11. Recommendation ITU-T E.804. QoS aspects for popular services in mobile networks [Electronic resource]. ITU, 2014. 446 p. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.804-201402-I/en>
12. Technical Specification ETSI TS 102 250-2. Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation [Electronic resource]. ETSI, 2015. 258 p. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102200_102299/10225002/02.04.01_60/ts_10225002v020401p.pdf
13. Kokhno P.A., Kokhno A.P., Artemyev A.A. Teoriya kachestva: monografiya / otv. red. P.A. Kokhno. Tver: Izd-vo Tver. gos. un-ta, 2025. 243 s. (in Russian).
14. Kokhno P.A., Kokhno A.P., Kokhno V.O. Mirovaya konkurentsia: monografiya / otv. red. P.A. Kokhno. M.: Izd. dom «Granitsa», 2026. 208 s. (in Russian).

Images and tables



Fig. 1. General composition of service quality indicators

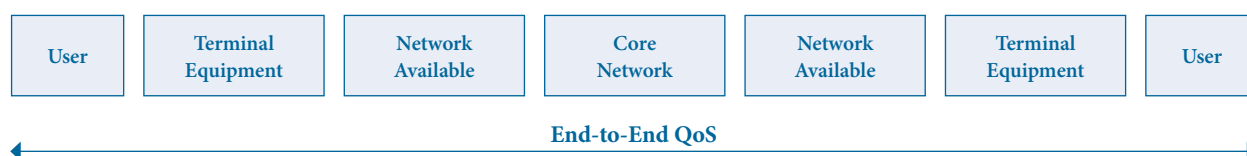


Fig. 2. Schematic representation of end-to-end QoS components

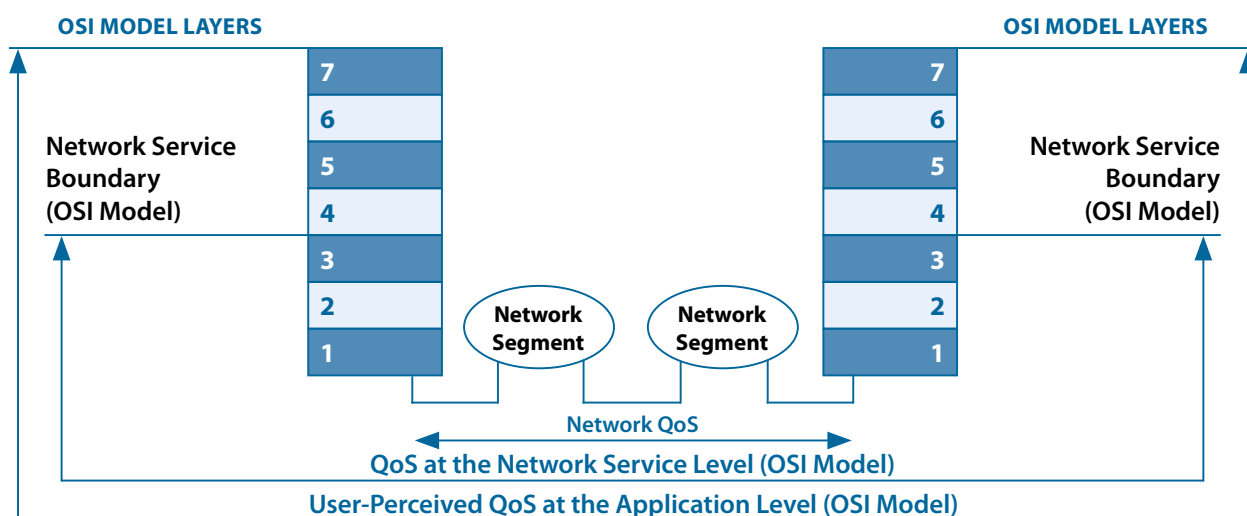


Fig. 3. Division of QoS indicators by OSI model layers

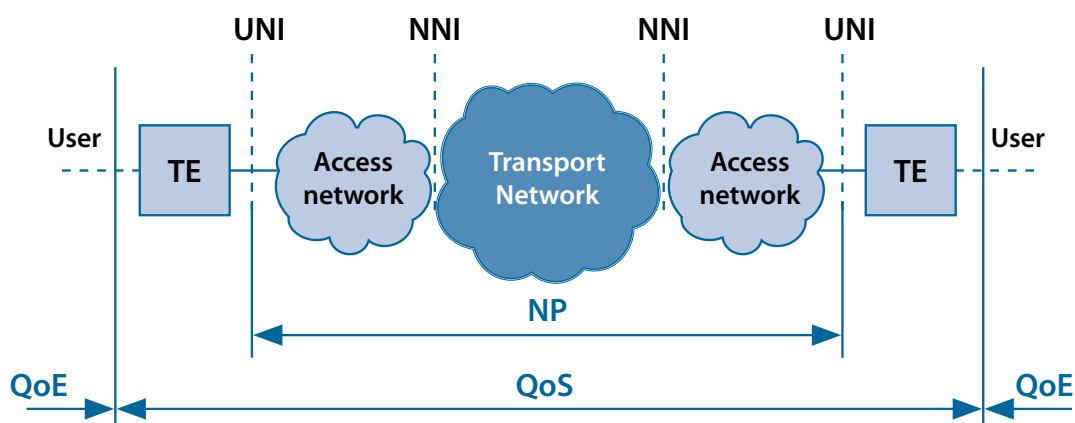


Fig. 4. Scope of application of groups of communication service quality indicators

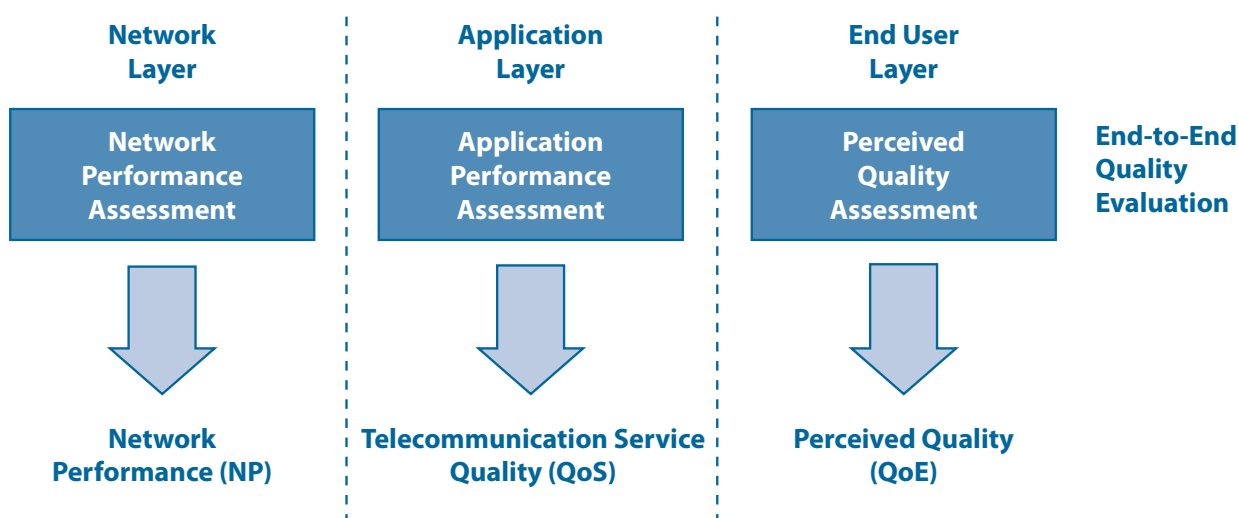


Fig. 5. Assessment of end-to-end quality of communication service

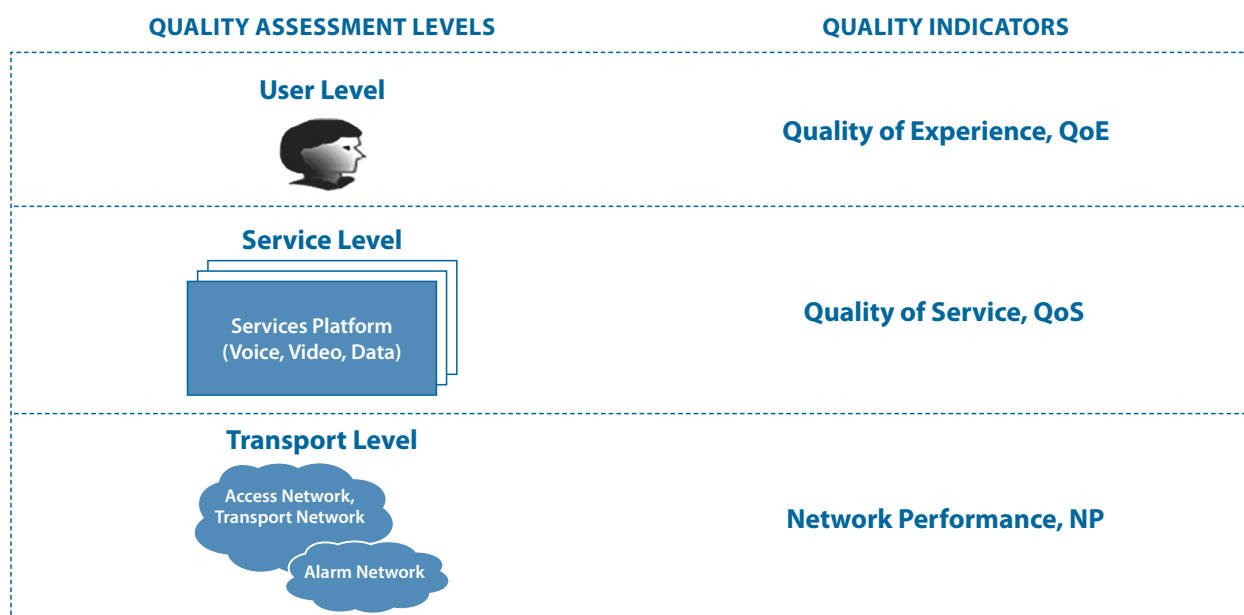


Fig. 6. Distribution of communication service quality indicators by technological systems

Table 1

Differences between packet-switched networks and circuit-switched networks

Network function	Switched networks channels	Packet-switched networks
Establishing a connection	A connection must be established in advance	There is no connection establishment stage (datagram method)
Resource allocation procedure	Resources are provided in accordance with the order in which requests are received.	Resources are provided simultaneously for all requests, provided that the total bandwidth required for them does not exceed the capabilities of the communication channel.
Transferring the recipients address	The address is only required at the connection establishment stage.	The address and other service information are transmitted with each packet.
Availability of network service to the user	The network may refuse to allow the user to establish a connection.	The network is always ready to receive data from the user.
Throughput guarantee	Guaranteed throughput	In general, the network bandwidth for subscribers is not known in advance; guaranteed bandwidth allocation is possible.
Procedure allocating bandwidth for user traffic	Static	Dynamic (in general), with the possibility of static allocation
Packet traffic transmission route	Data is transmitted according to the route of the channel within the communication network	The decision on the further route for transmitting a data packet is made separately for each traffic switching point on the path from the sender to the recipient; within the framework of transmitting one information message consisting of several data packets, each packet can be transmitted by a different route.
Delay in traffic transmission in a communication channel	The delay is determined by the time it takes for an electromagnetic signal to travel through a communication channel.	The delay value depends on the delay in packet queues/buffers on network nodes and is random.
Traffic loss at network nodes	Almost none	Data loss may occur due to packet buffer queue overflow.
Efficiency of use communication channel	Low (in general)	High
The best type of traffic	With a fixed rate, when transmitting bursty traffic, a significant portion of the reserved channel capacity is not used	Pulsating, it is possible to allocate a lane for traffic at a fixed speed
Traffic priority	Absent	By setting a priority flag and organizing different buffers/queues for traffic with different priority flag values
Terminating the connection	The connection is being "disassembled" and network resources are being released.	Not required
Providing connectivity to another set of communication service users	Transfer of released network resources to organize a connection in the interests of other users of communication services	It is possible to establish a connection in "parallel" mode if there are network resources that meet the user's request requirements, or dynamically redistribute network resources in the absence of strict requirements for network resources from already established connections.

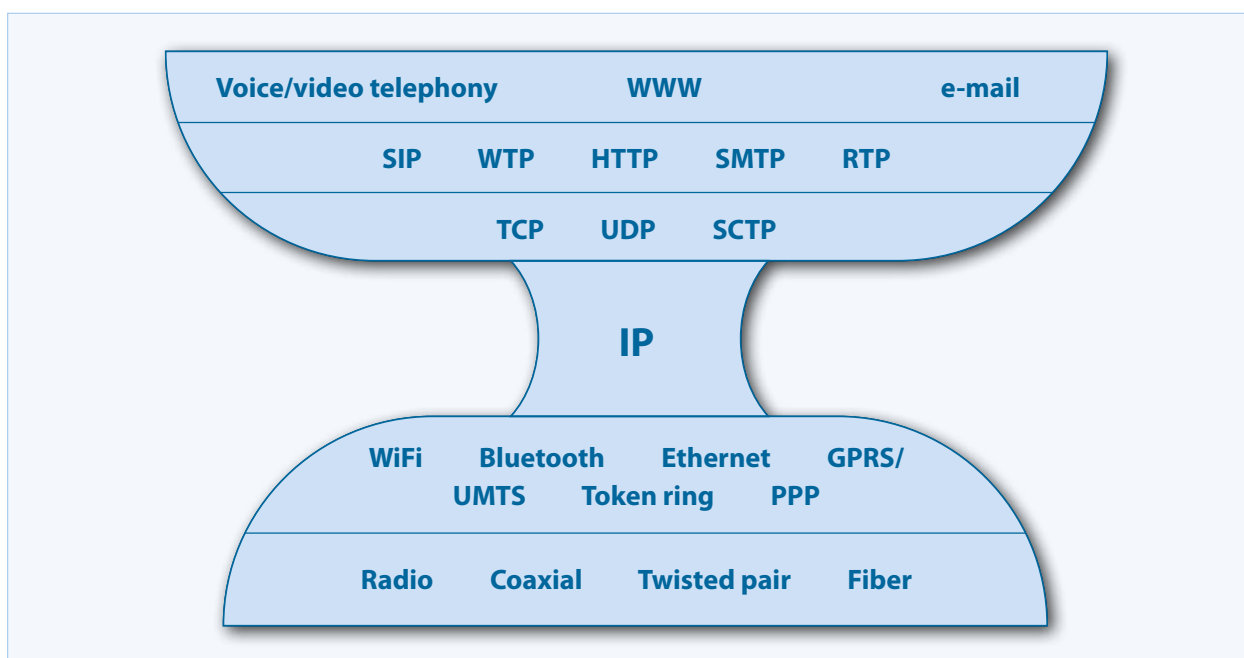


Fig. 7. Hierarchy of packet-switched network protocols

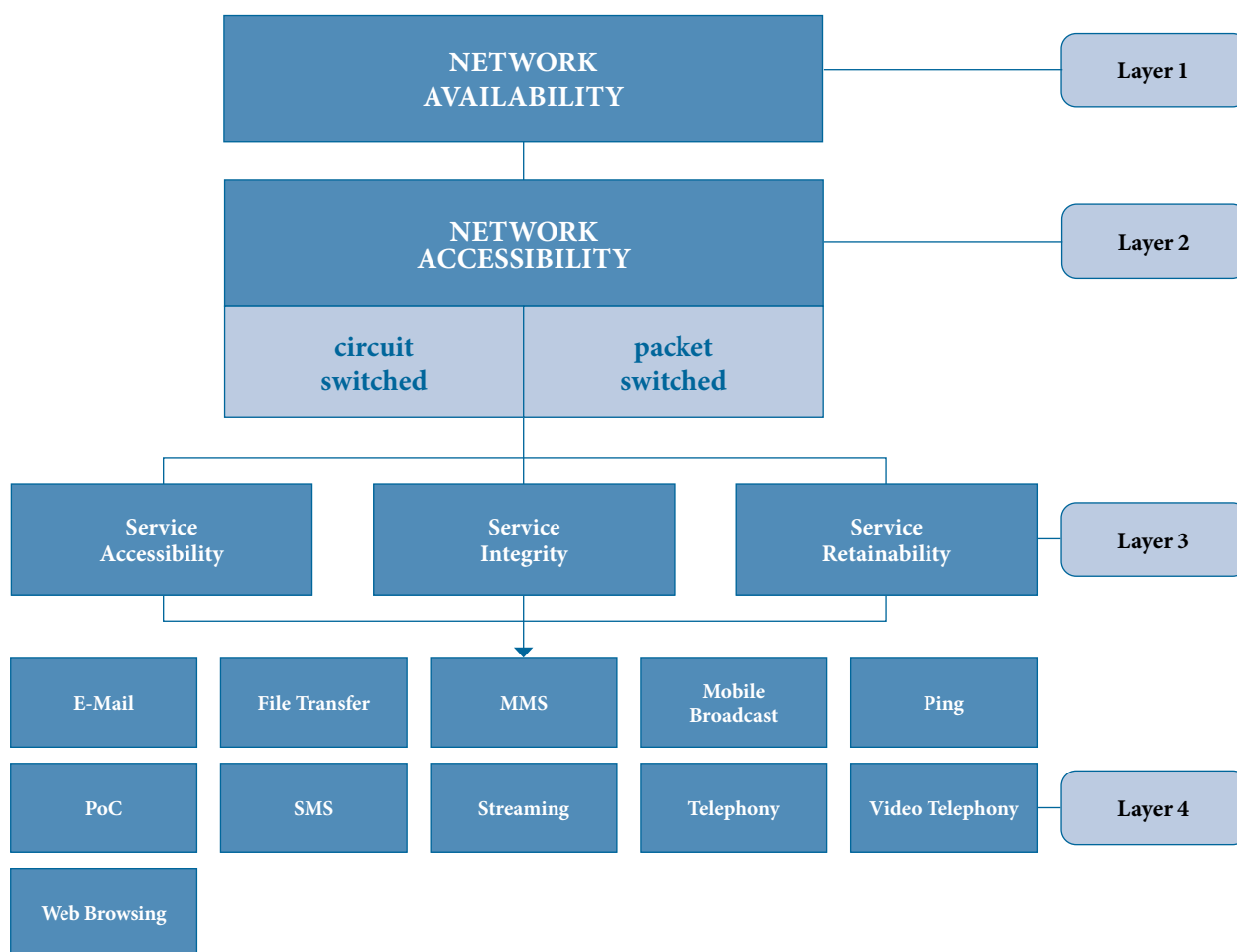


Fig. 8. Model of service quality parameters

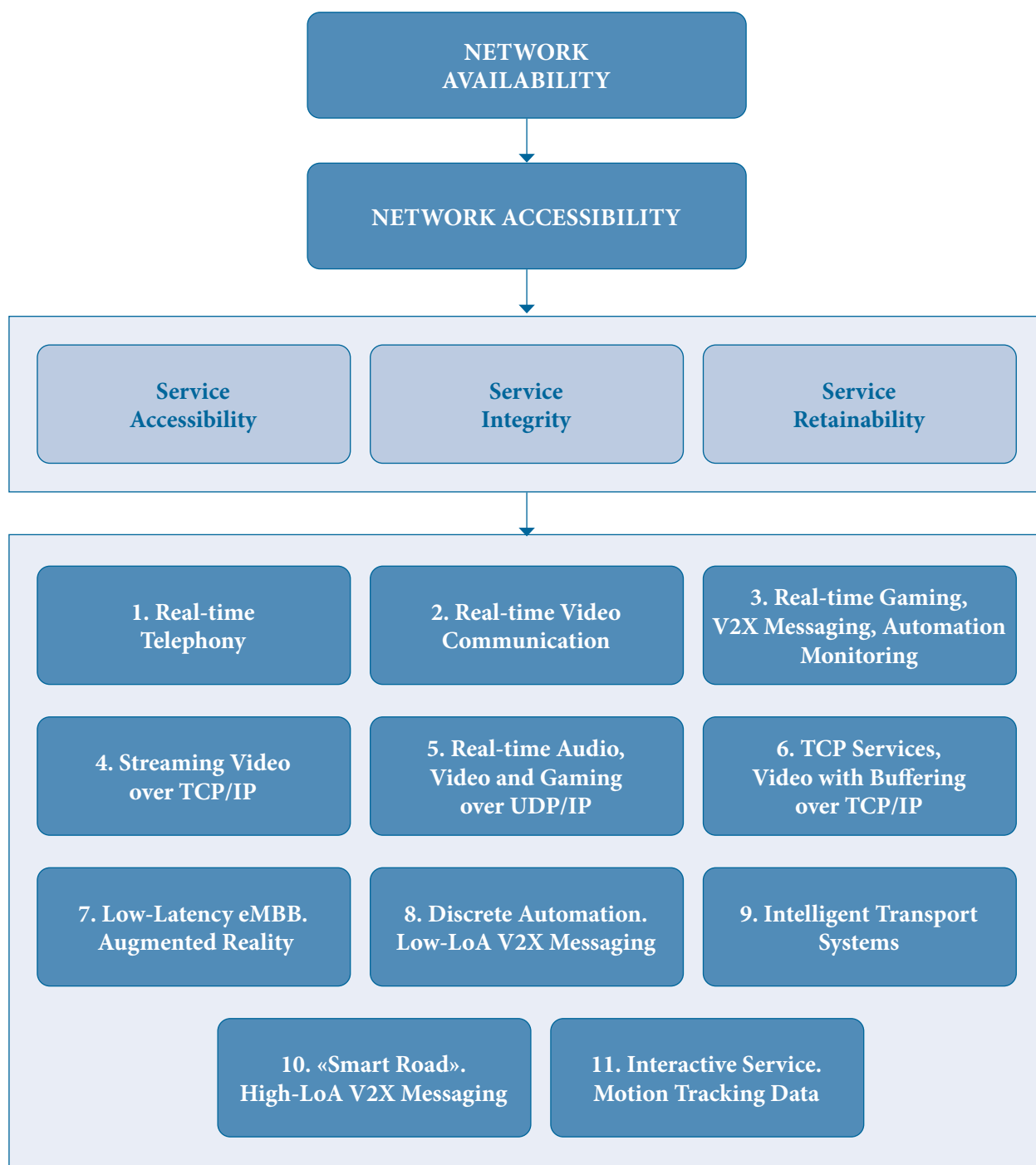


Fig. 9. Model of quality parameters in LTE and 5G networks