



М И Р С В Я З И

В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев,
В.А. Коваль, Е.Е. Девяткин

Развитие сетей мобильной
связи от 5G Advanced
к 6G: проекты, технологии,
архитектура

Издание 2-е, дополненное

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2024

УДК 621.396.1

ББК 22.3

T46

T46 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А., Девяткин Е.Е.
Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты,
технологии, архитектура
Издание 2-е, дополненное
Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2024. – 532 с. ISBN 978-5-94836-690-6

Во втором издании книги рассмотрены перспективы эволюционного развития и стандартизации технологий мобильной связи пятого поколения 5G Advanced / IMT-2020 на пути к 6G/IMT-2030 международными организациями связи, представлены планы развития технологий 5G Advanced партнерским проектом 3GPP в релизах 17 и 18, проанализированы основные бизнес-модели услуг и промышленные приложения в сетях 5G Advanced /IMT-2020, рассмотрены цепочки создания стоимости услуг 5G. Проведена оценка возможностей выделения частотных диапазонов для развития сетей 5G и 6G с учетом решений ВКР-23, рассмотрены особенности построения и архитектура сети радиодоступа 5G RAN фазы 3 (релиз 17), виды сигналов, нумерология их формирования и частотные каналы, используемые в сетях радиодоступа 5G Advanced.

Показаны будущие изменения сценариев архитектуры и функций базовой сети 5G Core, технологии программно-определяемых сетей SDN сети 5G и технологии виртуализации сетевых функций NFV, реализуемые в базовой сети 5G Core для управления и оркестрирования. Приведены технические и ЭМС-характеристики радиооборудования (базового и абонентского) сети радиодоступа 5G RAN для новой фазы эволюции технологий 5G Advanced. Рассмотрены вопросы применения технологии RedCap для услуг Интернета вещей в сетях 5G Advanced.

Рассмотрены возможности построения фрагмента сетей 5G и 6G на спутниках и высокоподнятых летающих платформах HAPS, железнодорожной сети FRMCS на базе 5G Advanced, их архитектура, использование алгоритмов и технологий искусственного интеллекта в сетевых элементах 5G Advanced.

Представлено видение и будущий облик мобильной связи поколения 6G/IMT-2030, его ключевые услуги, перспективы освоения 6G терагерцевого диапазона волн в интересах внедрения голографической связи, виртуальной реальности, человекоцентричных приложений и Интернета вещей. Рассмотрены перспективы использования интеллектуальных реконфигурируемых поверхностей RIS в сетях мобильной связи 6G.

Для специалистов, студентов и магистрантов инфокоммуникационных специальностей университетов.

УДК 621.396.1

ББК 22.3

© Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А., Девяткин Е.Е., 2024

© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2024

ISBN 978-5-94836-690-6

Содержание

Введение	9
Глава 1. Международная стандартизация сетей 5G и 6G	15
1.1. Разработка стандартов и спецификаций 5G	15
1.2. Развитие сети 5G фазы 3 в релизе 17 партнерского проекта 3GPP	20
1.3. Новые технологии релиза 17.....	23
1.4. Основные сетевые технологии 5G релиза 17.....	28
1.5. Общая стратегия и направления работ в релизе 18.....	30
1.6. Деятельность Международного союза электросвязи по сетям 6G	35
Глава 2. Международные исследовательские проекты по развитию технологий 5G	44
2.1. Ассоциации 5G-PPP и 5G AI как государственно-частные партнерства ЕС для создания 5G	44
2.2. Обзор программы ЕС FP8 «Горизонт-2020» в части исследовательских проектов создания 5G	46
2.3. Обзор исследовательских проектов по развитию сетей 6G в программе ICT-52 «Интеллектуальные подключения за пределы сетей 5G» партнерского проекта 5GPPP.....	62
Глава 3. Бизнес-модели и услуги в сетях 5G	69
3.1. Общая характеристика бизнес-моделей услуг 5G.....	69
3.2. Характеристики типовых индустриальных и пользовательских бизнес-моделей для услуг 5G	72
3.3. Оценка трафика при предоставлении различных услуг в сетях 5G	77
3.4. Услуги и приложения будущих сетей 6G.....	86
3.5. Бизнес-сценарии МСЭ использования услуг ИМТ-2030	96
Глава 4. Использование радиочастотного спектра в сетях 5G	103
4.1. Использование радиочастотного спектра для развития сетей 5G.....	103
4.2. Выделение радиочастотного спектра для развития сетей 5G по итогам ВКР-23	111
4.3. Использование полос частот миллиметрового диапазона волн для развертывания сетей 5G	115

4.4. Использование радиочастотного спектра в ТГц-диапазоне в сетях мобильной связи 6G	117
Глава 5. Особенности архитектуры сети радиодоступа NG-RAN.....	133
5.1. Основные принципы построения.....	133
5.2. Варианты подключения базовой станции gNB к опорной сети 5G Core	145
5.3. Архитектура базовой станции gNB сетей NG-RAN.....	148
5.4. Варианты реализации режима двойного подключения	161
5.5. Требования к топологии, пропускной способности и задержкам транспортной сети	168
Глава 6. Нумерология и структура частотно-временных ресурсов радиointерфейса 5G	174
6.1. Сетка частот радиointерфейса NR и синхронизации	174
6.2. Частотно-временная структура радиointерфейса NR	178
6.3. Агрегация частотных каналов в сетях радиодоступа 5G.....	193
Глава 7. Технические и ЭМС-характеристики оборудования сетей мобильной связи 5G.....	196
7.1. Требования МСЭ-Р к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования 5G.....	197
7.2. Требования партнерского проекта 3GPP к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования 5G	200
Глава 8. Особенности архитектуры опорной сети 5G Core	216
8.1. Основные принципы построения и архитектура опорной сети	216
8.2. Интеграция с сетями доступа не-3GPP.....	224
8.3. Идентификаторы, используемые в опорной сети.....	226
8.4. Особенности управления сессиями абонентов.....	228
8.5. Разделение опорной сети на сетевые слои (вертикальные плоскости).....	237
8.6. Управление мобильностью	242
8.7. Управление политиками	246
Глава 9. Построение антенных систем сети 5G	255
9.1. Общая характеристика технологии многоантенных систем MIMO.....	255

9.2. Применение технологии многоантенных систем MIMO в линии «вверх»	262
9.3. Применение технологии многоантенных систем MIMO в линии «вниз»	270
Глава 10. Перспективы создания спутникового сегмента 5G	279
10.1. Концепция применения и эталонные модели спутникового сегмента 5G	280
10.2. Спектральные аспекты создания спутникового сегмента 5G	287
10.3. Анализ стандартизации спутникового сегмента 5G партнерским проектом 3GPP и МСЭ-Р	289
10.4. Архитектура спутникового сегмента сети 5G	296
Глава 11. Управление качеством передачи данных в сети 5G	308
11.1. Основные принципы управления качеством передачи данных	308
11.2. Параметры качества передачи данных в сети 5G	311
11.3. Использование «зеркального» качества (Reflective QoS)	314
Глава 12. Построение архитектуры сети 5G для бизнес-модели виртуального оператора высокого уровня	320
12.1. Краткая характеристика типовых бизнес-моделей MVNO	320
12.2. Варианты построения архитектуры MOCN сети виртуального оператора	322
12.3. Особенности идентификации абонентов виртуального оператора 5G	323
12.4. Варианты построения архитектуры GWCN сети виртуального оператора	327
Глава 13. Управление выбором абонентским терминалом мобильной сети, технологии радиодоступа и соты	331
13.1. Управление выбором мобильной сети и технологии радиодоступа при регистрации абонентского терминала	331
13.2. Управление выбором/перевыбором соты абонентским терминалом после его регистрации в мобильной сети	337

13.3. Процедура перевыбора соты на основе статического кемпинга	341
13.4. Процедура перевыбора соты на основе профиль-ориентированного кемпинга	343
Глава 14. Применение технологий искусственного интеллекта в сетях 5G.....	349
14.1. Стандартизация использования технологий AI/ML для сетей 5G	350
14.2. Использование алгоритмов AI/ML в сетях радиодоступа NG-RAN.....	358
14.3. Использование алгоритмов AI/ML в базовой сети 5G Core	362
14.4. Архитектура системы анализа сетевых данных в сети 5G	365
14.5. Использование федеративного обучения для сети 5G Core с несколькими модулями NWDAF	370
Глава 15. Технология RedCap для оказания услуг Интернета вещей в сетях 5G.....	375
15.1. Стандартизация технологии RedCap и перспективы использования на рынке услуг Интернета вещей.....	375
15.2. Основные инновации технологических возможностей RedCap.....	378
15.3. Особенности функционирования абонентских устройств 5G RedCap	383
15.4. Процедуры начального вызова и синхронизации абонентских устройств 5G RedCap.....	385
Глава 16. Особенности построения системы специальных организационно-розыскных мероприятий в сетях 5G.....	389
16.1. Введение в современные системы СОРМ	389
16.2. Стандартизация требований СОРМ в сетях 5G	390
16.3. Архитектура и интерфейсы системы СОРМ в сетях 5G.....	393
16.4. Построение и использование протоколов системы СОРМ сетей 5G	399
16.5. Проблемные вопросы создания систем СОРМ в сетях 5G.....	402

Глава 17. Сети мобильной железнодорожной связи FRMCS на базе 5G: перспективы создания и внедрения.....	405
17.1. Анализ деятельности международных организаций связи по стандартизации сети FRMCS.....	405
17.2. Требования UIC и 3GPP к услугам и архитектуре сети FRMCS	407
17.3. Анализ трафика в сетях FRMCS	413
17.4. Использование спектра в сетях FRMCS.....	416
17.5. Построение сети FRMCS с использованием технологии 5G	417
Глава 18. Использование технологии динамического частотного шеринга DSS для развертывания совмещенных сетей 5G/LTE.....	423
18.1. Концепция динамического шеринга спектра DSS	423
18.2. Варианты технологии DSS, используемые для построения сети 5G	424
18.3. Особенности технологии DSS на основе сети MBSFN	427
18.4. Внедрение сетей 5G с технологией DSS.....	429
18.5. Совершенствование нормативно-правовой базы отрасли для внедрения сетей 5G с технологией DSS.....	431
Глава 19. Сети мобильной связи поколения 6G	434
19.1. Ключевые тенденции и показатели функционирования сетей 6G.....	435
19.2. Основные принципы создания и характеристики будущих сетей 6G	437
19.3. Использование радиочастотного спектра в сетях 6G.....	443
19.4. Потребности в электронной компонентной базе сетей 6G	448
Глава 20. Архитектура сетей 6G: Принципы и особенности построения	456
20.1. Принципы построения архитектуры сети 6G	457
20.2. Сквозной сетевой протокол NewIP архитектуры 6G	460
20.3. Общая архитектура сети 6G	463
20.4. Архитектура и особенности сетей на платформе LAPS.....	465
20.5. Архитектура и особенности сетей на платформе HAPS	468
20.6. Архитектура космического сегмента сетей 6G.....	469

Глава 21. Применение интеллектуальных реконфигурируемых поверхностей RIS в сетях мобильной связи 6G	474
21.1. Анализ вопросов стандартизации и исследования технологии RIS	475
21.2. Режимы работы и технологические решения построения RIS	478
21.3. Сценарии развертывания RIS в сетях мобильной связи	484
21.4. Технические и регуляторные проблемы использования RIS	488
Приложение 1. Глоссарий основных терминов 5G и 6G	492
Приложение 2. Технические спецификации 3GPP серии 38 – 5G фаза 1	505
Приложение 3. Отчеты и рекомендации МСЭ по 5G и 6G	508
Приложение 4. Варианты распределения символов в слоте между линиями «вверх» и «вниз» (3GPP TS 38.213)	511
Приложение 5. Виды модуляции радиointерфейса NR	513
Приложение 6. Псевдослучайные последовательности, используемые радиointерфейсом NR	515
Приложение 7. Перечень сервисов сетевых функций опорной сети 5G Core	518
Приложение 8. Сервисы и операции сетевой функции UDM	520
Приложение 9. Состав статических и динамических правил управления политиками и тарификацией PCSS Rule	521
Приложение 10.1. Протоколы опорной сети 5G Core	524
Приложение 10.2. Протоколы плоскости пользователя	527
Список использованных сокращений	529

Введение

Развитие цифровой экономики является результатом сочетания четырех ключевых факторов развития: технологий, уровня сопутствующих услуг (включая создание контента и управление сетями киберфизических систем на производстве), развития бизнеса (посредством генерации и модернизации бизнес-процессов) и цифровой культуры пользователей.

Технологии и уровень связанных услуг являются главными в инфраструктурной основе цифровой экономики. Инфраструктура цифровой экономики должна быть распределена пропорционально перспективам развития и текущим вызовам, обеспечивая высокие стандарты качества услуг на всех уровнях для динамичного развития цифровой экономики страны.

Главными технологическими вызовами цифровой экономики могут стать: реализация массового внедрения и соединения в сети киберфизических устройств, относимых к классу Интернета вещей (IoT) и «машина – машина» (M2M), с плотностью размещения от 300 тыс. устройств в соте до 1 млн устройств на 1 кв. км, а также создание высоконадежных соединений киберфизических устройств с задержкой до 1 мс для услуг IoT и M2M в реальном масштабе времени. Эти вызовы планируется преодолеть, развивая технологические возможности сетей 5G и Интернета вещей в направлении 5G Advanced.

К концу 2023 г. в мире более чем 261 оператор запустили коммерческие сети 5G, которые обслуживали более 1,6 млрд млн подключений. Количество анонсированных абонентских устройств 5G в 2022 году выросло до 1334 устройств. К концу 2023 г. на рынке стало коммерчески доступно не менее 1886 абонентских устройств 5G. Общее число производителей, наладивших серийное или опытное производство абонентских устройств 5G в мире в 2023 г. достигло 255. Ими анонсирован выпуск более 2700 абонентских устройств 5G.

В 2021 г. количество выпущенных мобильных процессоров и платформ для сетей радиодоступа 5G New Radio (NR) выросло на 144%, а количество выпущенных 5G-модемов – на 85%. В 2022 г. рост продолжился: количество выпущенных в первом квартале мобильных процессоров выросло на 81% по сравнению с предыдущим годом, а количество 5G-модемов – на 42%.

Технология 5G Advanced (релиз 18 и далее) представляет дальнейшую эволюцию поколения мобильной связи 5G за пределы текущей

фазы развития 5G/IMT-2020, которая повышает функциональные возможности, скорость передачи данных и другие технические требования по сравнению с технологией 5G, релизы 15–17). Ожидается, что 5G Advanced будет представлять не только технологию, но и интеллектуальную платформу в сочетании с применением искусственного интеллекта, обеспечивающую сверхбыстрый радиодоступ, низкую задержку и более надежную мобильную связь, способную справляться с постоянно растущими требованиями к передаваемым данным для нужд цифровой экономики.

Реализация перехода к сетям доступа 5G Advanced потребует внедрения новых принципов использования радиочастотного спектра и получения новых частотных назначений в полосах частот миллиметрового диапазона волн, создания виртуализованной инфраструктуры сети 5G, основанной на технологической и инфраструктурной гетерогенности, внедрения бизнес-моделей, ориентированных на массовое применение услуг M2M и IoT (uRLLC и mMTC).

Способность игроков рынка генерировать новые бизнесы, основанные на технологической инфраструктуре сетей 5G Advanced, создаст в цифровой экономике мультипликативный эффект. Чем больше бизнес-процессов цифровой экономики будет связано с технологиями 5G, тем больше инвестиций будет сделано в эти технологии и услуги, что, в свою очередь, предоставит новые возможности развития бизнеса и технологических перспектив.

Всего за шесть первых месяцев 2023 года мир мобильной связи стал свидетелем поразительного прироста — 331 миллиона новых подключений абонентов 5G, в результате чего общее число таких подключений к концу 2023 достигло впечатляющих 1,6 миллиарда. Прогнозируется, что за шесть лет с конца 2023 по 2029 год число подписчиков 5G в мире вырастет более чем на 330 процентов — с 1,6 миллиарда до 5,3 миллиарда. По прогнозам, покрытие 5G будет доступно более чем 45 процентам населения мира к концу 2023 года и 85 процентам к концу 2029 года.

Последний прогноз компании Omdia более оптимистичный чем прогноз компании Эрикссон предполагает, что к 2028 году будет достигнут уровень 8 миллиардов подключений 5G, что превысит количество подключений в сетях LTE/4G более чем на 2,5 миллиарда.

Глобальные сети 5G будут претерпевать существенное расширение. В настоящее время в мире развернута 261 коммерческая сеть 5G, и ожидается, что к 2025 году их число вырастет до 425. По данным МИТ, в

Китае уже построена крупнейшая в мире мобильная сеть 5G: на конец прошлого года было развернуто более 2,31 млн базовых станций 5G. Это отражает значительные инвестиции в инфраструктуру 5G во всем мире.

На протяжении 2023 года этот рост продолжался, хотя и гораздо более медленными темпами. На данный момент количество выпущенных мобильных процессоров выросло на 25%, а модемов — на 11%.

Публикация 2-го переработанного и дополненного издания этой книги, по мнению авторов, позволит не только начать готовить на ее основе новую плеяду ученых и инженеров, обеспечивающих динамичное развитие цифровой экономики страны, но и представить видение разработчиками перспектив сетей 6G, чтобы дать толчок креативным идеям, определяющим горизонты развития мобильной связи за пределами 2030 г.

В первой главе книги авторами рассмотрена разработка стандартов и спецификаций 5G Advanced и 6G, а также проведен обзор деятельности партнерского проекта 3GPP по созданию релизов 17 и 18, проанализированы первые результаты формирования облика сетей 6G и деятельность Международного союза электросвязи по сетям 6G.

Во второй главе рассмотрены деятельность Ассоциации 5G PPP как государственно-частного партнерства по программе «Горизонт-2020» (FP-8) для создания 5G в рамках ЕС, проведен обзор исследовательских проектов государственно-частного партнерства 5G PPP стран ЕС по развитию сетей 6G в программе ICT-52 «Интеллектуальные подключения за пределы сетей 5G».

В третьей главе дана общая характеристика бизнес-моделей услуг 5G и бизнес-сценариев МСЭ для сетей 6G, рассмотрены примеры типовых индустриальных и пользовательских бизнес-моделей для услуг 5G и 6G, а также приведена оценка будущего трафика сетей 5G для различных бизнес-моделей.

Четвертая глава посвящена поиску и исследованиям в области использования частотного ресурса для развития сетей 5G. Рассмотрены потребности в радиочастотном спектре для развития сетей связи 5-го поколения с учетом итогов ВКР-23 и новые принципы использования радиочастотного спектра в сетях 5G.

В пятой главе рассмотрены особенности построения и архитектура сети радиодоступа 5G, основные принципы построения и протоколы сети радиодоступа NG-RAN. Представлена архитектура базовых станций gNB сети радиодоступа NG-RAN и построения радиointерфейса NR сети радиодоступа NG-RAN.

Шестая глава рассматривает нумерологию и структуру частотно-временных ресурсов радиointерфейса 5G, включая распределение и использование частотных диапазонов в сетях радиодоступа 5G и агрегацию частотных каналов в сетях радиодоступа 5G.

В седьмой главе рассмотрены технические и ЭМС-характеристики будущего оборудования сетей мобильной связи 5G, различия требований МСЭ и партнерского проекта 3GPP к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования 5G.

Восьмая глава посвящена особенностям построения архитектуры базовой сети 5G, в которой приведены принципы построения и архитектура базовой сети 5G Core, интеграция с сетями доступа не-3GPP и примеры разделения опорной сети 5G на сетевые слои (вертикальные плоскости), управление мобильностью и управление политиками в сети 5G.

В девятой главе рассмотрены вопросы использования построения антенных систем сети 5G на основе технологии многоантенных систем MIMO, включая особенности ее применения в линиях вниз и вверх в сетях 5G.

Десятая глава книги посвящена перспективам создания спутникового сегмента сетей 5G и оценке возможности использования низкоорбитального созвездия спутников LEO для сетей 5G на основе спутникового сегмента. Представлены эталонные модели партнерского проекта 3GPP по интеграции архитектуры спутникового сегмента 5G в наземных сетях NTN 5G.

В главе одиннадцать рассмотрены принципы и требования к управлению качеством услуг в сети 5G, формирование требований к качеству базовых услуг 5G и управление качеством услуг в сети 5G.

Двенадцатая глава посвящена построению архитектуры сети 5G при использовании бизнес-модели виртуального оператора высокого уровня. Дана краткая характеристика типовых бизнес-моделей MVNO и вариантов построения архитектуры MOCN сети виртуального оператора. Рассмотрены особенности идентификации абонентов виртуального оператора 5G и варианты построения архитектуры GWCN сети виртуального оператора.

В главе тринадцать рассмотрены вопросы управления выбором абонентским терминалом мобильной сети, выбором технологии радиодоступа и соты при регистрации абонентского терминала в сети, особенности управления выбором/перевыбором соты абонентским терминалом после его регистрации в мобильной сети и перевыбора соты на основе статического и профильно ориентированного кемпинга.

Четырнадцатая глава книги посвящена вопросам применения технологий искусственного интеллекта на основе машинного обучения AI/ML в сетях 5G, их стандартизации Партнерским проектом 3GPP для сетей 5G, использованию алгоритмов AI/ML в сетях радиодоступа NG-RAN и в базовой сети 5G Core, а также рассмотрению архитектуры системы анализа сетевых данных в сети 5G.

В главе пятнадцать книги рассмотрены технология RedCap для оказания услуг Интернета вещей в сетях 5G, ее стандартизация Партнерским проектом 3GPP и перспективы использования на рынке услуг IoT, показаны технологические возможности RedCap и особенности функционирования абонентских устройств 5G RedCap, а также процедуры работы абонентских устройств RedCap в сетях 5G.

Шестнадцатая глава книги посвящена особенностям построения системы специальных организационно-розыскных мероприятий (СОРМ) в сетях 5G, стандартизации требований СОРМ в сетях 5G. Рассмотрены архитектура, протоколы и интерфейсы системы СОРМ в сетях 5G, проблемные вопросы создания систем СОРМ в сетях 5G.

В главе семнадцать рассмотрены перспективы создания и построение сети мобильной железнодорожной связи FRMCS на базе 5G, включая деятельность международных организаций связи по стандартизации сети FRMCS. В главе представлены требования союза UIC и партнерского проекта 3GPP к услугам, архитектуре и использованию спектра сети FRMCS, а также результаты анализа трафика в такой сети.

Восемнадцатая глава посвящена использованию технологии динамического частотного шеринга DSS для развертывания совмещенных сетей 5G/LTE, которая реализует концепцию динамического шеринга спектра (DSS). В главе рассмотрены варианты технологии DSS, используемые для построения сети 5G, а также внедрение сетей 5G с технологией DSS и особенности технологии DSS при использовании сети MBSFN.

В девятнадцатой главе дано определение и рассмотрен облик сетей мобильной связи поколения 6G. Рассмотрены основные принципы создания и характеристики будущих сетей 6G, использование радиочастотного спектра в этих сетях и требования к электронной компонентной базе сетей 6G.

Двадцатая глава книги посвящена принципам и особенностям построения архитектуры сети 6G на основе концепции интеграции воздушно-космического и территориального сегментов сети, использованию сквозного сетевого протокола NewIP архитектуры 6G. Рассмотрены архитектура и особенности построения сегментов сетей

6G на низколетящей платформе LAP и высокоподнятой платформе HAPS, а также архитектура спутникового сегмента сетей 6G.

В завершающей двадцать первой главе рассмотрено применение интеллектуальных реконфигурируемых поверхностей RIS в сетях мобильной связи 6G, проанализированы процессы текущей стандартизации и исследования технологии RIS, представлены режимы работы и технологические решения для построения RIS, сценарии развертывания RIS в будущих сетях мобильной связи, а также технические и регуляторные проблемы использования RIS.

В приложениях книги приведены:

- 1) глоссарий основных терминов 5G и 6G;
- 2) технические спецификации 3GPP релиза 17 по 5G (серия 38);
- 3) отчеты и рекомендации МСЭ по 5G и 6G;
- 4) варианты распределения символов в слоте между линиями «вверх» и «вниз»;
- 5) виды модуляции радиointерфейса NR;
- 6) псевдослучайные последовательности, используемые радиointерфейсом NR;
- 7) перечень сервисов сетевых функций опорной сети 5G Core;
- 8) сервисы и операции сетевой функции управления унифицированными данными UDM;
- 9) состав статических и динамических правил управления политиками и тарификацией PCC Rule;
- 10) протоколы плоскости управления опорной сети 5G Core.

Книга может стать теоретической базой для дальнейшей разработки и проектирования сетей 5G Advanced, для разработки приложений и оптимизации сетей мобильной связи 5G/6G в интересах оказания базовых и новых видов цифровых услуг.

Авторы благодарны лично коллегам из регионального отделения «Информационные и телекоммуникационные технологии» РАЕН и Национальной радиоассоциации за поддержку авторов и ряд ценных советов, способствовавших улучшению книги.

Особую признательность авторы выражают другу и коллеге из Европейского института стандартизации электросвязи Игорю Минаеву, сотрудникам ФГУП НИИР к.т.н., доценту Бочечке Г.С., Пастуху А.С., а также ООО «Гейзер-Телеком» – к.т.н. Глушко В.И., к.т.н. Стрельцу М.В., Корчагину П.А., за предоставленные материалы исследований, помощь при подготовке книги и ряд ценных замечаний для публикации материалов.

ГЛАВА I

МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ СЕТЕЙ 5G И 6G

Сети 5G (5th generation mobile networks или 5th generation wireless systems) представляют новую фазу эволюции мобильных телекоммуникационных стандартов за пределы текущей фазы развития 4G / LTE Advanced / IMT-Advanced, связанную с повышением скорости передачи данных, улучшением функциональных возможностей и других технических требований новых сетевых решений на порядок.

Влияние на будущий технологический облик сетей 5G и потребности в радиочастотном спектре будут оказывать несколько факторов:

- прогнозы роста потребления трафика различными пользователями при оказании услуг мобильного беспроводного доступа до 2030 г. [1];
- изменение парадигмы развития мобильной связи как сетей доступа для сетей Интернета вещей (IoT) и M2M [2];
- достижение предела спектральной эффективности технологиями мобильной связи 2G/3G/4G;
- технические требования к сетям 5G, сформулированные при выполнении европейских проектов METIS -I, -II и 5GIC (Университет Суррея) [3, 4], а также проекта IMT-2020 [2].

1.1. Разработка стандартов и спецификаций 5G

Все действующие стандарты технологий мобильной связи 2G/3G/4G построены на принципах открытых стандартов: доступность, ориентация на конечного пользователя, бесплатность использования, недискриминационность, возможность развития, отсутствие лицензий использования, инновационность.

Согласно определению МСЭ-Т [5], открытый стандарт — это стандарт или протокол, который равным образом доступен для чтения и использования без ограничений всем заинтересованным сторонам и который:

- не содержит компонентов или расширений, зависящих от форматов или протоколов, которые не попадают под определение открытого стандарта;

- не содержит правовых или технических положений, ограничивающих его использование любой заинтересованной стороной в любых схемах предпринимательства;
- разработан и дорабатывается в ходе процедур, не зависящих от конкретного поставщика и открытых для равноправного участия конкурентов и третьих сторон;
- доступен в большом количестве полных реализаций, выполненных конкурирующими поставщиками, или в виде полной реализации, в равной степени доступной всем сторонам.

Эти же принципы заложены в разработку новых стандартов для технологии мобильной связи пятого поколения (5G).

Основными организациями, вовлеченными в стандартизацию 5G на глобальном международном уровне, являются [3]:

- сектор радиосвязи МСЭ-Р и сектор стандартизации МСЭ-Т, в рамках которых были созданы: рабочая группа WP5D «ИМТ-системы» в исследовательской комиссии ИК5 «Наземные службы» и оперативная группа (ОГ) ИМТ-2020 в исследовательской комиссии ИК13 «Будущие сети, включая облачные вычисления, сети подвижной связи и сети последующих поколений»;
- партнерский проект 3GPP, занимающийся развитием технологий мобильной связи 2G/3G/4G/5G и разработкой для них технических спецификаций (стандартов) на глобальном уровне;
- партнерский проект oneM2M, стартовавший в 2012 г. по инициативе шести региональных органов стандартизации (ETSI, ARIB, TTA, CCSA, TTA и TTC), которые в 1998 г. уже создали успешный партнерский проект 3GPP, и американской Ассоциации ATIS.

На европейском уровне вопросами стандартизации сетей и услуг 5G занимается Европейский институт стандартизации электросвязи (ETSI). В ETSI созданы несколько горизонтальных технических комитетов MSG (группа стандартизации мобильной связи), mWT (передача на миллиметровых волнах), SmartBAN (умные сети широкополосного доступа), SmartM2M (умные сети межмашинного обмена) и ряд индустриальных групп NFV (виртуализация сетевых функций), NGP (протоколы будущих поколений), которые участвуют в разработке европейских стандартов 5G и формируют предложения для технических спецификаций 3GPP и oneM2M.

Сети мобильной связи 5G в течение ближайшего года станут неотъемлемой частью цифровой экономики РФ. Достигнутые сегодня ключевые характеристики и параметры сетей 5G в релизах 15 и 16 могут быть существенно улучшены в новых релизах партнерского проекта 3GPP, направленных на создание следующей фазы развития мобильной связи 5G Advanced.

В настоящее время все технические спецификации 3GPP по стандартизации технических требований первой фазы сетей 5G общим числом более 88 томов объединены в единую 38 серию технических спецификаций (приложение 2).

Внутри 38 серии технических спецификаций 3GPP можно выделить следующие группы спецификаций по направлениям [6–21, 28–43]:

38.101–38.1xx. Оборудование абонентских и базовых станций сети 5G;

38.201–38.2xx. Физический уровень сети 5G. Описание радиointерфейса и протоколов;

38.301–38.3xx. Общее описание протоколов интерфейса NR сети 5G. Шаг 2;

38.401–38.4xx. Архитектура сети радиодоступа NG-RAN сети 5G;

38.501–38.5xx. Тестирование (подтверждение соответствия) абонентского оборудования сети 5G;

38.801–38.8xx. Технические отчеты об исследованиях нового радиointерфейса сети 5G и новых полос частот;

38.901–38.9xx. Технические отчеты по результатам исследований моделей распространения, новых частотных каналов и результатам экспериментов в части сети 5G.

Анализ технических спецификаций 3GPP по стандартизации технических требований к сети радиодоступа NG-RAN 5G в диапазонах ниже 6 ГГц показал, что эти вопросы рассмотрены в следующих технических спецификациях и отчетах [30–35]:

1. 3GPP TS 38 101. NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception.
2. 3GPP TS 38 104. NR; Base Station (BS) radio transmission and reception.
3. 3GPP TR 38 817-1. NR; General aspects for UE RF for NR.
4. 3GPP TR 38 817-2. NR; General aspects for BS RF for NR.
5. 3GPP TR 38 813. NR; New frequency range for NR (3.3–4.2 GHz).
6. 3GPP TR 38 901. NR; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz.

Главные требования к архитектуре сети 5G были сформулированы в следующих технических спецификациях и отчетах [36–41]:

1. 3GPP TS 38.300. NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2.
2. 3GPP TS 38.401. NG-RAN; Architecture description.
3. 3GPP TS 23.501. System Architecture for the 5G System; Stage 2.
4. 3GPP TR 23.799. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces.
5. 3GPP TR 29.891. 5G System – Phase 1; CT WG4 Aspects.
6. 3GPP TR 38.801. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces.

Стандартизация бизнес-моделей и соответствующие системные требования к ним были также зафиксированы в следующих технических спецификациях 3GPP:

1. Для бизнес-модели mIoT (massive Internet of Things) – в TS 22.861.
2. Для бизнес-модели CRIC (critical communications) – в TS 22.862.
3. Для бизнес-модели eMBB (enhanced mobile broad Band) – в TS 22.863.
4. Для бизнес-модели NEO (network operations) – в TS 22.864.
5. Для бизнес-модели V2X (vehicle communication) – в TS 22.886.

Анализ текущей деятельности партнерского проекта 3GPP по формированию технических требований и характеристик мобильных сетей поколения 5G в релизах 17 и 18 позволяет прогнозировать развитие оборудования мобильных сетей. Эти требования и характеристики включают в себя около 50 инновационных технологий и 400 перспективных тем исследований по различным аспектам эволюционного развития сетей 5G в направлении 5G Advanced.

Стандартизация технических спецификаций мобильной сотовой связи играет решающую роль в обеспечении будущих инноваций, разрабатываемых партнерским проектом 3GPP и другими организациями по стандартизации. Каждая волна инноваций мобильной связи 5G структурирована как очередной релиз партнерского проекта 3GPP, в котором представлен набор функциональных возможностей и технологий мобильной беспроводной связи.

После успешного завершения релиза 16 в декабре 2019 г. партнерским проектом 3GPP была начата работа по формированию следующей волны инноваций, собранных в релизе 17, в результате чего был утвержден пакет из около 50 новых проектов, которые планируется завершить во второй половине 2022 г.

Релиз 17 партнерского проекта 3GPP представляет собой набор технических спецификаций (требований), направленных на дальнейшее усовершенствование технологий сетей 5G в фазе 3, которые были выработаны в 2021 г. и должны быть окончательно утверждены в 2022 г.

На пленарном заседании партнерского проекта 3GPP TSG# 87 было согласовано предложение руководства целевых TSG и рабочих WG-групп о первоначальном продлении работ по созданию релиза 17 на три месяца, а затем о переносе ряда сроков завершения работ над техническими спецификациями на 2022 г. из-за использования в деятельности электронных (онлайн) собраний. Ибо онлайн-формат работы рабочих групп партнерского проекта 3GPP не позволял оперативно согласовывать позиции для достижения взаимопонимания разработчиков технических спецификаций и приводил к длительной переписке в целях достижения консенсуса. Принятые изменения плана работы 3GPP подразумевали [22]:

- замораживание технических спецификаций релиза 17 в части исследований рабочей подгруппы RAN1 (описание функций и процедур в общем виде, логический анализ, описание потоков сообщений и функциональных элементов) в декабре 2021 г.;
- замораживание технических спецификаций релиза 17 фазы 3 (описание процедур, сообщений и информационных элементов (IE), определение функций оборудования для обеспечения совместимости с различными поставщиками) в марте 2022 г.;
- закрытие дополнений в технические спецификации релиза 17 (описание нотаций кодирования ASN.1 и интерфейсов OpenAPI) в июне 2022 г.;
- замораживание изменения сети радиодоступа RAN в сентябре 2022 г.

В разрабатываемый в настоящее время релиз 17 были включены следующие инновационные технологии, которые относятся к наземным сетям связи NTN (спутниковым сетям и сетям на высокоподнятых на дирижаблях платформах), промышленным беспроводным сенсорным сетям IWSN, транспортным средствам, присоединенным ко всему V2X, промышленному Интернету вещей IoT, расширенному широкополосному мобильному и фиксированному беспроводному доступу (eMBB и FW).

Следующим шагом в развитии мобильной связи поколения 5G станет релиз 18 (рис. 1.1), который сформирует облик эволюционного развития сетей 5G Advanced.

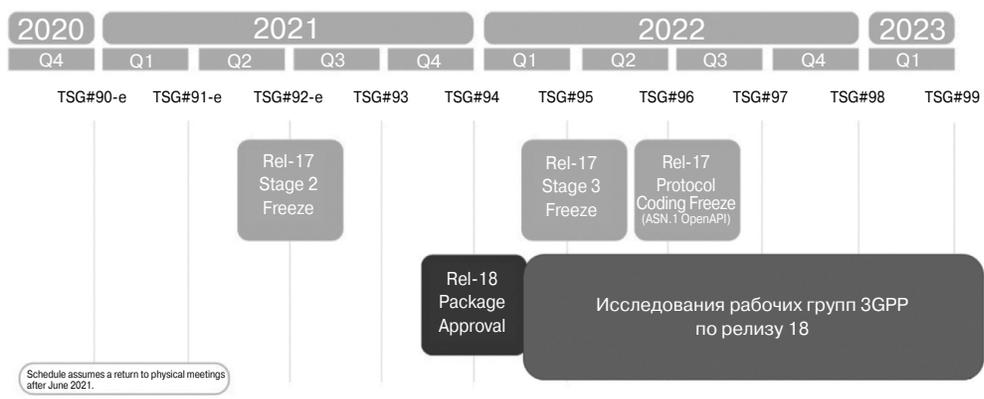


Рис. 1.1. Планы работ партнерского проекта 3GPP по релизу 18

На семинаре, проведенном партнерским проектом 3GPP с 28 июня по 2 июля 2021 г., были определены направления исследований релиза 18, утвержден официальный логотип новой фазы развития 5G Advanced и рабочие планы специальных целевых групп TSG партнерского проекта 3GPP. Предварительные предложения 3GPP по тематике работ в релизе 18 сосредоточены на следующих областях:

- функциональная эволюция на основе услуг eMBB;
- функциональная эволюция, не связанная с услугами eMBB (uRLLC и mMTC);
- кросс-функциональность для эволюции как услуг eMBB, так и для не-eMBB.

В настоящее время начинает готовиться технический отчет TR 21.918 Release description; Release 18 [23] в котором будут определены основные технологии, развиваемые в сетях 5G Advanced.

1.2. Развитие сети 5G фазы 3 в релизе 17 партнерского проекта 3GPP

Общую стратегию работ партнерского проекта 3GPP можно классифицировать по основным составляющим системы 5G. Отличие понятия «система 5G» от понятия «сеть 5G» состоит во включении в систему 5G (сокращенно 5GS) и функциональности абонентского оборудования 5G EU согласно TS 23.501 [24].

Исследования релиза 17 сосредоточены в нескольких ключевых областях системы 5G, и часть их уже находятся в стадии внедрения ведущими вендорами в оборудование (рис. 1.2).

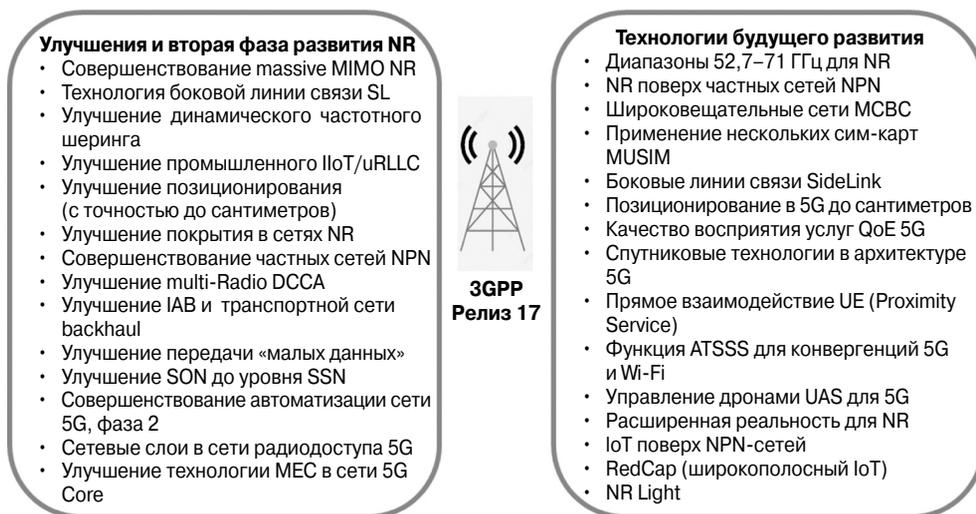


Рис. 1.2. Основные улучшения и инновационные технологии релиза 17

К ним относятся: улучшение покрытия и позиционирования (переход от метров к сантиметрам) в сети 5G, совершенствование работы радиointерфейса NR и улучшение качества восприятия услуг QoE для различных сетевых слоев 5G, добавление новых частотных диапазонов в поддиапазоны FR1 (нижние и средние диапазоны волн) и FR2 (миллиметровый диапазон волн, ММДВ), создание устройств с уменьшенной пропускной способностью в радиointерфейсе NR, расширение поддержки частных сетей NPN, совершенствование поддержки беспилотных воздушных систем связи для дронов, поддержка мобильных граничных вычислений MEC в опорной сети 5G Core, оказание услуг на основе близости в 5GS, автоматизация сети 5G для фазы 2 и функций управления, улучшение технологии коммутации и разделения трафика доступа (ATSSS) для обеспечения бесперебойной совместной работы сетей 5G и Wi-Fi / Wi-Fi 6E.

Задачи релиза 17, на которые также следует обратить внимание специалистам, включают следующие решения и инновации: услуги uRLLC промышленного IoT через радиointерфейс NR, поддержка радиointерфейса NR в неназемных (спутниковых и NAPS) сетях, антенны и алгоритмы Massive MIMO, интегрированный доступ через базовые станции gNB для транзитных соединений в сетях 5G (IAB), позиционирование MBS, многоадресные и широковещательные услуги NR, сетевые слои в сети радиодоступа RAN для радиointерфейса NR, боковой линии связи NR(SideLink), возможности двойного подключения multi-RAT, поддержки абонентских услуг устройств с не-

сколькими сим-картами (MUSIM) для радиointерфейсов LTE/NR, передача «малых данных» в радиointерфейс NR в неактивном состоянии и услуги приоритета мультимедиа – и это лишь некоторые из них.

Стандартизация усовершенствованного физического уровня сети радиодоступа 5G RAN. С января 2020 г. подгруппа RAN1 (физический уровень сети радиодоступа) начала работы над несколькими функциями физического уровня, которые обеспечивают повышение общей эффективности и производительности технологий радиointерфейса 5G NR: усовершенствование технологии MIMO, улучшение совместного использования спектра, энергосбережения и покрытия UE. Подгруппа RAN1 также проводит необходимые исследования и спецификацию технических требований для улучшения физического уровня в полосах частот от 52,6 до 71 ГГц.

Кроме того, будет усовершенствована технология позиционирования сети 5G для удовлетворения строгих требований к точности и задержке для промышленных помещений (в том числе внутри них). Добавлены дополнительные функциональные возможности для промышленных IoT, а также NB-IoT. Будет добавлена поддержка спецификаций для комбинации устройств NR с более низкой пропускной способностью и расширение покрытия NR для поддержки сценариев с малой мобильностью для больших сот (LMLC), важных для внедрения 5G в развивающихся странах.

В рамках Релиза 17 подгруппа RAN1 продолжила работу над стандартизацией радиодоступа 5G NR для поддержки сетей неназемного доступа (NTN), а именно спутниковых сетей и сетей на высотных платформах (HAPS), прокладывая путь к внедрению поддержки технологий NB-IoT и eMTC для спутников с различными орбитами.

Стандартизация усовершенствованного интерфейса 5G NR. В апреле 2020 г. подгруппа RAN2 (уровень протоколов сети радиодоступа) также начала работать над стандартизацией функций, которые направлены на улучшение эффективности и производительности 5G NR: совершенствование технологии MultiRadio в режиме двойного присоединения DC и агрегации спектра CA, улучшение технологии интегрированного доступа и транспортной сети IAB, использование интерфейса 5G NR для передачи небольших данных, повышение энергосбережения в абонентском UE, улучшение решений самоорганизующихся сетей SON / технологии многоадресных передач MDT (Multicast Transmission).

Подгруппа RAN2 3GPP обеспечит стандартизацию технологии многоадресных передач MDT, уделяя особое внимание функциональности многоадресной рассылки для одной соты в направлении мультисотовой передачи. Важно отметить, что многоадресная рассылка будет полностью повторно использовать физический уровень одноадресной передачи протокола NR для повышения возможностей многоадресной рассылки, координации поискового вызова для абонентского устройства UE с несколькими сим-картами MUSIM.

Стандартизация усовершенствованной архитектуры сети радиодоступа 5G RAN. Подгруппа RAN3 (уровень архитектуры сети радиодоступа) работает в настоящее время над стандартизацией новых требований к качеству восприятия QoE для сети радиодоступа 5G NG-RAN и протокола 5G NR, начав с исследования функции QoE в сети 5G и ее отличий от сетей LTE.

Архитектура сети радиодоступа 5G NG-RAN более универсальна, чем сеть радиодоступа RAN LTE, благодаря структурированию базовых станций gNB, которое включает разделение функций в плоскости управления и плоскости пользователя, а также разделение на радиомодуль gNB-RU, центральный модуль gNB-CU и распределенный модуль gNB-DU. Исходя из принятого структурирования, подгруппа RAN3 добавит в технические спецификации 3GPP поддержку разделения плоскостей CP-UP в сетях LTE, чтобы сети LTE могли также воспользоваться некоторыми из новых функций сети радиодоступа 5G NG-RAN. Будут также стандартизованы функции виртуальной сети радиодоступа vNG-RAN на основе технологии RAN Slicing.

1.3. Новые технологии релиза 17

Рассмотрим наиболее важные и интересные для будущего развития сетей 5G и создания новых приложений 5G инновации, технологии и решения, стандартизованные в релизе 17 [26–29].

Технология NR Light будет основываться на новом типе абонентских устройств, работающих с радиоинтерфейсом NR Light и сетью радиодоступа NG-RAN, которые специально разработаны для поддержки промышленных беспроводных сенсорных сетей. Целью технологии NR Light является разработка экономичных абонентских устройств с возможностями, которые находятся между полнофунк-

циональными абонентскими устройствами для технологии Full NR и устройствами беспроводного доступа LPWAN с низким энергопотреблением (например NB-IoT/eMTC). Она будет использовать стандартные радиоблоки NR, включая нумерологию и полосу пропускания SSB, которая будет дополнена усовершенствованиями для удовлетворения новых требований, таких как снижение сложности и снижение энергопотребления UE.

Сформулированные требования к технологии NR-Lite должны учитывать новые сценарии и варианты использования устройств IoT, которые не могут быть выполнены на основе технологий eMTC и NB-IoT (рис. 1.3):

- более высокая скорость передачи данных и надежность, меньшая задержка, чем у eMTC и NB-IoT;
- более низкая стоимость/сложность и более длительное время автономной работы, чем у NR eMBB;
- более широкий охват, чем у устройств для услуг URLLC.

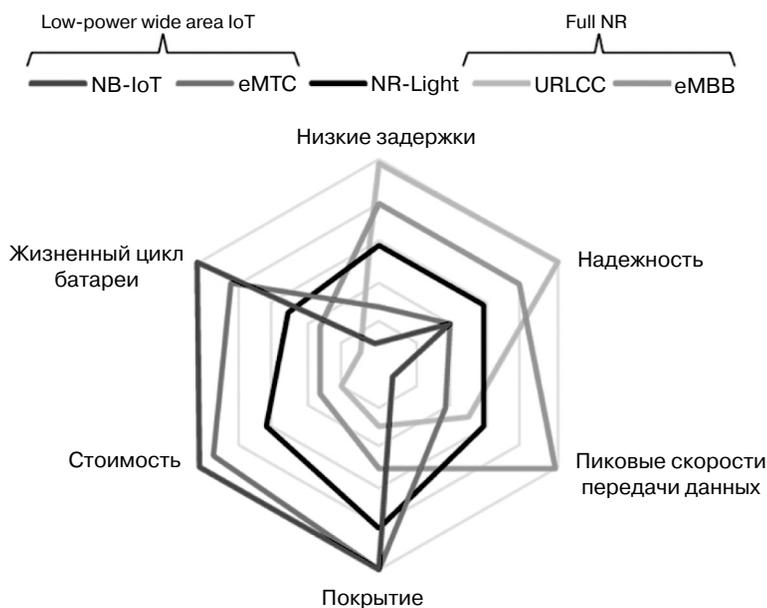


Рис. 1.3. Сравнение характеристик NR Light

Требования и варианты использования технологии NR Light в сети 5G:

- скорость передачи данных до 100 Мбит/с для поддержки, например прямой трансляция видео, визуального контроля производства, автоматизации производственных процессов;

- задержка около 10–30 мс для поддержки, например дистанционное управление беспилотными летательными аппаратами, кооперативной сельскохозяйственной техникой, транспортным средством, определение времени и обратной связи;
- стоимость модуля NR Light сопоставима со стоимостью модулей eMTC и NB-IoT для сетей LTE;
- улучшение покрытия 10–15 дБ по сравнению с устройствами 5G с услугой URLLC;
- срок службы батареи в 2–4 раза длиннее, чем у абонентских устройств 5G с режимом eMBB;
- создание выделенных сетей 5G для обслуживания различных видов использования в промышленной среде для услуг IIoT;
- поддержка услуг URLLC, MBB и позиционирование.

Абонентские устройства NR Light как новый класс устройств будут иметь более широкие возможности, чем устройства eMTC/NB-IoT, но поддерживаемые функции и пропускная способность будут меньше, чем у устройств 5G NR для услуг eMBB/URLLC. Так, например, абонентские устройства NR-Light смогут с шириной полосы частотного канала всего 10 или 20 МГц обеспечивать пропускную способность в линии вниз DL до 100 Мбит/с и пропускную способность в линии вверх UL до 50 Мбит/с, что делает эту технологию более применимой для таких случаев использования, как носимые устройства высокого класса, промышленные видеокамеры и датчики IoT.

Технология NR-Light вошла в число приоритетных рабочих вопросов релиза 17. Благодаря внедрению технологии NR Lite не будет необходимости поддерживать в одном устройстве несколько RAT. Кроме того, технология NR Lite будет использовать преимущества системной архитектуры 5G и такие функциональные возможности, как управление сетевыми слоями, управление классами QoS на основе потоков данных и т.д.

Совершенствование линии боковой связи (SideLink, SL) радиодоступа NR. Технология линии боковой связи SL относится к технологии прямой связи между различными узлами (блоками) радиодоступа V2X или абонентским оборудованием 5G UE без передачи данных через сеть 5G. В сети радиодоступа 5G, образуемой линиями боковой связи SL на основе радиоинтерфейса NR, абонентскими устройствами V2X считаются транспортные средства с бортовыми блоками регистраторов OBU (OnBoard Units) V2X, придорожные блоки связи (RSU) или

мобильные устройства 5G UE, которые используются пешеходами. RSU передает данные блоков OBU или обменивается данными с бортовыми блоками V2X в своей зоне связи (рис. 1.4).

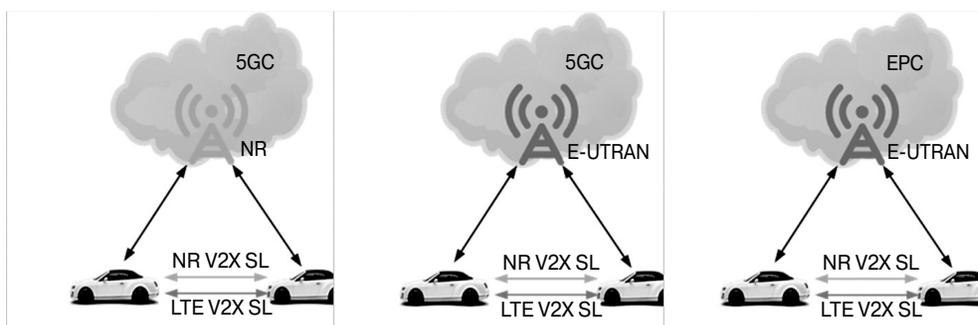


Рис. 1.4. Сценарии линии боковой связи SL с использованием радиоинтерфейса NR

Поэтому работы по улучшению линии боковой связи SL в релизе 17 включают следующие направления и пункты:

- улучшение распределения ресурсов (выделение ресурсов для снижения энергопотребления, усовершенствование для автономного режима в целях повышения надежности и уменьшения задержки);
- совершенствование режима DRX для линии боковой связи при широковещательной, групповой и одноадресной передаче;
- использование новых полос частот боковой линии связи при работе на одной несущей;
- работа боковой линии связи в определенных географических областях для заданного диапазона частот.

Совершенствование радиодоступа NR для поддержки наземных сетей NTN. Работы по стандартизации этой технологии нацелены на расширение использования радиодоступа NR для сетей NTN, особенно спутниковых линий LEO (низкая околоземная орбита) и GEO (геостационарные орбиты), включая совместимость для поддержки базовых станций высокоподнятых платформ HAPS, а также сценариев применения радиодоступа NR в линии воздух – земля ATG (air-to-ground).

Подробные цели включают:

- на физическом уровне PHY – временные соотношения, временную/частотную синхронизацию UL, HARQ, дизайн канала PRACH, переключение фидерной линии, управление лучом и работу с использованием частей полосы пропускания канала (BWP);

- на уровне протоколов – усовершенствование MAC (т.е. произвольный доступ, планирование линии UL, применение режима DRX, запрос планирования), а также усовершенствование протокола RLC (Radio Link Control), расположенного между PDCP- и MAC-уровнями, и протокола PDCP (т.е. отчет о состоянии, порядковая нумерация), процедуры плоскости управления CP (режим ожидания и подключения, непрерывность обслуживания и мобильность);
- на уровне архитектуры – усовершенствование архитектуры NG-RAN (т.е. поддержку коммутатора фидерной линии, сетевых идентификаторов, регистрации/пейджинга, взаимосвязи сот) и аспекты использования радиочастот / охват частотных диапазонов, требования к управлению радиоресурсами RRM, требования компенсации синхронизации UE и точности частоты.

Расширение текущего использования спектра до 71 ГГц включает исследование использования как лицензируемых полос спектра, так и нелицензированных для доступа по радиointерфейсу NR при оказании услуг 5G в более высоких частотных диапазонах по следующим направлениям: использование новой нумерологии и оценки влияния на частичное использование полос (bandwidth parts, BWP), использование технологий Beamforming, HARQ и т.д.; поддержка до 64 блоков; механизмы доступа к каналу, включая работу на основе технологии Beamforming; механизмы доступа к каналу для соответствия правилам нелицензированного использования спектра в этой части диапазона ММДВ; спецификация новых диапазонов в частотном диапазоне от 52,6 до 71 ГГц.

Расширение сетевых слоев RAN Slicing для радиointерфейса NR. В проводимой работе исследуется совершенствование поддержки RAN для разделения сети на сетевые слои, включая: обеспечение быстрого доступа абонентского устройства UE к соте, поддерживающей выбранный слой (например повторный выбор соты на основе слоя, конфигурация канала случайного доступа RACH на основе слоя для запрета сот); поддержка непрерывности обслуживания внутри RAT (например целевая сота, не поддерживающая текущий слой UE, требующий повторного отображения слоя, восстановления и процедур пересылки данных).

1.4. Основные сетевые технологии 5G релиза 17

Основные сетевые технологии 5G релиза 17 охватывают целый ряд инноваций для улучшения управления и функционирования опорной сети 5G Core.

Инновации самоорганизующихся сетей SON в сети 5G. Работы нацелены на определение вариантов использования, требований к сети, а также службам управления и процедурам для следующих функций SON: оптимизация покрытия и емкости (CCO), оптимизация балансировки нагрузки (LBO), оптимизация распределения ресурсов сети 5G, самовосстановление функций сети 5G (включая автоматическое управление программным обеспечением и автоматическую обработку данных конфигурации сети). Следующим шагом развития сетей SON станет переход от классических SON, адаптирующих свои функции к конкретным состояниям среды, к самоподдерживающимся сетям SSN (Self-Sustaining Networks), которые могут постоянно поддерживать свои ключевые показатели эффективности (KPI) в условиях высокой динамики изменения конфигурации и сценариев использования сетей 6G. Поэтому на сегодняшний момент технология SON рассматривается 3GPP как технология-драйвер для развития сетей 5G в направлении применения искусственного интеллекта – алгоритмов машинного (ML) и глубокого обучения (DL).

Совершенствование управления частными сетями NPN и расширенная поддержка непубличных сетей 5G направлены на:

- спецификацию сценариев развертывания частных сетей NPN:
 - а) вертикальная независимость управления сетями NPN, возвращенных автономно,
 - б) независимое управление сетью NPN оператором PLMN для предоставления вертикальных услуг,
 - в) управление частной сетью NPN оператором мобильной сети общего пользования PLMN с предоставлением возможностей управления для вертикальных услуг как клиента NPN;
- определение обеспечения автономной NPN (SNPN) и общедоступной интегрированной сети NPN (PNI-NPN) с изоляцией и управлением на основе SLA для локального развертывания NPN на фабриках, предприятиях и в зданиях для обеспечения покрытия в заданной географической области;
- исследование обеспечения поддержки автономной сети SNPN с подпиской и учетными данными, принадлежащими объекту неавтономной сети SNPN;

- исследование возможностей адаптации и инициализации абонентских устройств UE для частных сетей NPN.

Улучшение разделения сети 5G на сетевые слои (этап 2). В этом направлении совершенствования системы 5G в релизе 17 исследуются пробелы в текущих процедурах системы 5G для поддержки универсального шаблона слоя (Generic Slice Template, GST) в соответствии с определением Ассоциации GSMA[25] и изучаются решения для устранения существующих пробелов, такие как максимальное количество UE на одном сетевом слое, максимальное количество сеансов PDU на одном сетевом слое, максимальные скорости передачи данных DL и UL на UE в сетевом слое. Это должно привести к единому пониманию и практической реализации сетевых слоев в сети 5G.

Совершенствование подключения, идентификации и отслеживания беспилотных авиационных систем (БПЛА). Для удовлетворения потребностей нового и быстроразвивающегося сектора беспилотных авиационных систем (БАС), состоящих из беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, синоним – дроны), в рабочих группах партнерского проекта 3GPP была выполнена большая работа по стандартизации требований к сетям 5G, чтобы они отвечали потребностям в подключении БАС и БПЛА к сетям 5G, а также контроллеров БПЛА для тщательного управления воздушным трафиком БПЛА. Работы релиза 17 направлены на исследование архитектуры и системных аспектов сети 5G для поддержки функций управления и контроля БПЛА (например контроллер БПЛА, идентификация и отслеживание БПЛА), авторизацию и аутентификацию в сценариях связи (например контроллер БПЛА с БПЛА, БПЛА с БПЛА, БПЛА с контроллером БПЛА); потенциальные улучшения связи необходимы для обмена трафиком между контроллером БПЛА и БПЛА с учетом возможности соединения как LOS, так и NLOS.

Совершенствование граничных вычислений (MEC) в 5G Core обеспечивает решение ключевых проблем и поддержку пересылки трафика приложений UE и контента в приложения, развернутые на пограничном сервере MEC, например обнаружение IP-адреса, развернутого на сервере приложений в периферийной вычислительной среде; улучшение в 5GC для поддержки плавной смены сервера приложений, обслуживающего абонентские устройства UE; эффективное (то есть с малой задержкой) обеспечение локальных приложений информацией, например, о качестве услуг QoS, которая влияет на начисление платы и контроль политик.

Инновации в технологиях расширенной реальности в сетях 5G. Технология 5G eXtended Reality (5G-XR) является эволюционным путем перехода от дополненной реальности (AR), виртуальной реальности (VR), смешанной реальности (MR) к расширенной реальности (XR).

Сеть 5G обеспечивает высокоскоростные каналы связи с низкой задержкой между устройствами с расширенной реальностью XR и приложениями XR. Кроме того, благодаря сетям 5G появляется возможность изменить архитектуру предоставления мобильных услуг XR. Пограничные облачные серверы MEC используются для повышения эффективности обработки изображений на абонентском устройстве 5G и более эффективного использования фотореалистичной графики и визуальных изображений с малыми задержками. Промышленный дизайн устройств XR может быть не зависящим от традиционных ограничений по тепловому режиму, мощности и форм-фактору. В рамках исследований, проводимых в релизе 17, начнется изучение требований к характеристикам производительности сетей 5G для различных случаев использования, относящихся к этой более широкой категории услуг виртуальной реальности (то есть VR, AR, MR и XR).

1.5. Общая стратегия и направления работ в релизе 18

Общая стратегия и направления работ в релизе 18 (рис. 1.5) сформулированы в течение 2021 г. на семинарах рабочих групп по сетям радиодоступа RAN и CN.

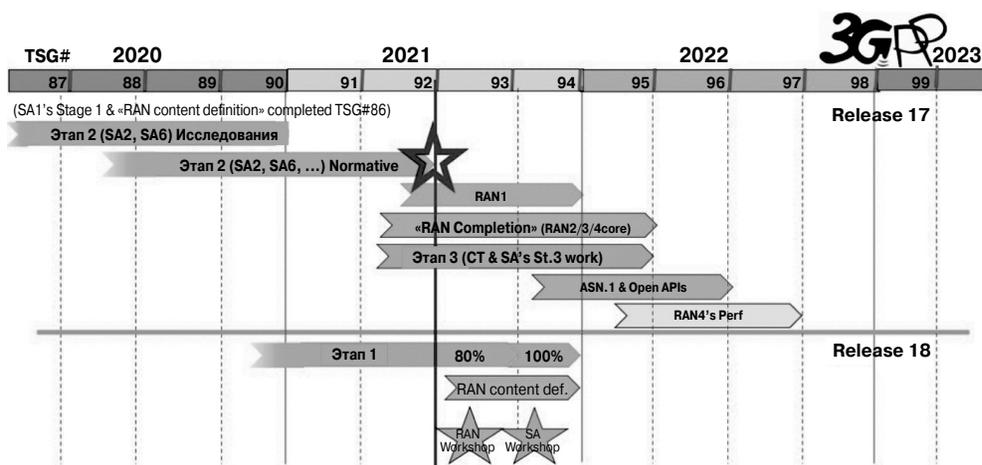


Рис. 1.5. Стратегия и направления работ в релизе 18 3GPP

К настоящему времени сформулированы следующие направления развития сети радиодоступа RAN:

1. Развитие MIMO в линии «вниз» по следующим направлениям:
 - дальнейшее совершенствование информационного референсного сигнала CSI (Channel Status Information), используемого абонентским терминалом для оценки состояния канала, который пользовательское оборудование (UE) передает узлу сети доступа RAN (gNB) в качестве обратной связи;
 - совершенствование технологии обработки multi-TRP для облегчения ICI за счет динамической координации между множеством TRP (множества точек приема-передачи, из которых UE будут иметь доступ к сети, т.е. макросот, микросот, пикосот, фемтосот, удаленных радиоголовок RRU, релейных узлов и т.д.) и многолучевыми антеннами (multi-beam);
 - использование в оборудовании CPE в помещении.
2. Совершенствование сети радиодоступа 5G RAN в линии «вверх»:
 - работа более четырех передатчиков (Tx) в линии вверх;
 - работа нескольких излучающих антенных панелей / нескольких точек приема-передачи TRP в линии вверх;
 - частотно-избирательное предварительное кодирование;
 - дальнейшие улучшения покрытия в линии вверх.
3. Совершенствование мобильности сети со следующими параметрами:
 - межсотовая мобильность на основе системных уровней L1 и L2;
 - совершенствование стека протоколов DAPS (Dual Active Protocol Stack) / CHO (Conditional HandOver);
 - совершенствование технологий, специфичных для поддиапазона FR2 (миллиметровые волны).
4. Дополнительные топологические улучшения (технология IAB и интеллектуальные повторители):
 - интегрированная мобильная транспортная сеть Mobile IAB (Integrated Access Backhaul) / релейная линия, устанавливаемая на транспортном средстве (VMR);
 - умный ретранслятор с информацией бокового управления SL.
5. Совершенствование технологии расширенной реальности XR для следующих аспектов:

- ключевые параметры функционирования и качества услуг (KPI/QoS), работа с информацией о приложениях;
 - аспекты, связанные с энергопотреблением, покрытием, емкостью и мобильностью, характерные для XR.
6. Улучшения боковой линии связи Sidelink (за исключением позиционирования):
 - совершенствование технологии SL (использование нелицензированных диапазонов, улучшение энергосбережения, повышение эффективности и т.д.);
 - совершенствование ретрансляции сигналов в линии SL;
 - совместное использование технологий LTE V2X и NR V2X.
 7. Эволюция технологии широкополосного Интернета вещей RedCap по следующим направлениям (за исключением позиционирования):
 - новые варианты использования и новые полосы пропускания абонентских устройств UE (менее 5 МГц);
 - улучшение энергосбережения.
 8. Развитие наземных сетей NTN:
 - использование радиointерфейса NR в сетях NTN;
 - использование сетей NTN для услуг IoT (Интернет вещей).
 9. Развитие широкополосных и многоадресных услуг:
 - услуги вещания 5G на основе радиointерфейса LTE;
 - услуги многоадресного вещания NR MBS в сетях.
 10. Расширенное и улучшенное позиционирование со следующими параметрами:
 - позиционирование в боковой линии связи SL;
 - повышенная точность, целостность и энергоэффективность;
 - позиционирование для технологии RedCap (широкополосного IoT).
 11. Совершенствование дуплексного режима в части:
 - сценариев развертывания сети для дуплексного режима FDD;
 - управления помехами в дуплексном режиме.
 12. Применение искусственного интеллекта AI и машинного обучения ML в следующих областях:
 - радиointерфейс NR (варианты использования для фокусировки, ключевые параметры функционирования KPI и методология оценки, участие сети и UE и т.д.);
 - новое поколение сети радиодоступа NG-RAN.

13. Экономия сетевой энергии по следующим направлениям:
 - ключевые показатели эффективности экономии энергии и методология оценки;
 - основные направления экономии и возможные решения.
14. Дополнительные темы-кандидаты рабочих групп RAN1/2/3.
Набор 1:
 - энергосбережение в абонентских устройствах UE;
 - совершенствование, улучшение и расширение поддержки за пределами 52,6 ГГц;
 - совершенствование агрегации несущих CA (Carrier Aggregation) / двойное присоединение DC (Dual-Connectivity) (например MR-MC (Multi-Radio/Multi-Connectivity) и т.д.);
 - гибкая интеграция радиочастотного спектра;
 - реконфигурируемые интеллектуальные поверхности (RIS);
 - другие темы, лежащие в компетенции рабочей группы RAN1.
15. Дополнительные темы-кандидаты рабочих групп RAN1/2/3.
Набор 2:
 - беспилотные летательные аппараты БПЛА;
 - промышленный Интернет вещей IIoT / сверхнадежная связь с малой задержкой URLLC;
 - использование частотных каналов менее 5 МГц в выделенном для 5G частотном спектре;
 - совершенствование для различных типов устройств IoT;
 - совершенствование системы на высокоподнятых платформах HAPS;
 - совершенствование сетевого кодирования.
16. Дополнительные темы-кандидаты рабочих групп RAN1/2/3,
Набор 3:
 - координация технологии Inter-gNB в следующих областях:
 - работа с несколькими несущими между gNB/gNB-DU,
 - Inter-gNB / работа распределенного модуля gNB-DU с несколькими излучающими поверхностями TRP;
 - повышение отказоустойчивости централизованного модуля gNB-CU базовых станций;
 - совершенствование сетевых слоев сети радиодоступа 5G RAN;
 - использование нескольких универсальных модулей идентификации (MUSIM) в абонентском устройстве 5G;

- агрегирование спектра в абонентских устройствах UE;
 - улучшение безопасности;
 - совершенствование самоорганизующихся сетей SON / минимизация драйв-тестов (MDT);
 - прочие задачи рабочих групп RAN2/RAN 3-led.
17. Возможное совершенствование областей исследования рабочей группы RAN4.

Таким образом, анализ приведенных выше направлений исследований и стандартизации технологии NR и сети радиодоступа 5G RAN показывает, что предлагаемые инновационные технологии сформируют облик нового этапа эволюции сетей поколения 5G в направлении 5G Advanced, который будет характеризоваться более совершенными функциональными возможностями, а также более высокими техническими характеристиками и параметрами.

Аналогичные направления развития опорной сети 5G Core сформулированы в 2021 г. в целевых рабочих группах CN Партнерского проекта 3GPP, что позволило определить общие планы стандартизации релиза 18.

Реализация партнерским проектом 3GPP начального этапа стандартизации поколения 5G в виде релизов 15 и 16 позволила сформулировать технические требования и облик сети радиодоступа 5G RAN и опорной сети 5G Core для их внедрения разработчиками в сетевое и абонентское оборудование 5G для коммерческого вывода на рынок. Сравнительные оценки технических требований релизов 15 и 16 показали необходимость их совершенствования для достижения требований рекомендаций МСЭ к сетям, относимым к поколению 5G.

Несмотря на сложности, связанные с работой партнерского проекта 3GPP в период ограничений, связанных с эпидемией КОВИД-19 и переходом на дистанционное общение специалистов в целевых и рабочих группах 3GPP, работы по стандартизации технологии 5G в релизе 17 замедлились несущественно и будут окончательно завершены в 2022 г.

В релизе 17 стандартизовано большое количество новых инноваций и рассматривается более 400 исследовательских вопросов, завершающих первую фазу развития 5G для перехода в 2022 г. к стандартизации нового поколения сетей 5G Advanced в релизе 18.

Релиз 18 открывает фазу развития технологии 5G Advanced, требования к которой будут сформированы в течение этого года, работы по ним планируется завершить в 2023 г.

1.6. Деятельность Международного союза электросвязи по сетям 6G

В Международном союзе электросвязи (МСЭ) изучение и стандартизация требований к новым системам связи шестого поколения, в том числе разработка новых рекомендаций, содержащих требования к системе 6G, будут проводиться по аналогии с разработкой рекомендаций для стандарта 5G/IMT-2020. Разработкой новых рекомендаций будет заниматься сектор радиосвязи (МСЭ-Р) при взаимодействии с другими секторами МСЭ.

Анализ деятельности фокус-группы МСЭ-Т «Технологии для сети – 2030» (FG NET-2030). Фокус-группа МСЭ-Т «Технологии для сети –2030» (FG NET-2030) была создана исследовательской группой МСЭ-Т 13 (ИК 13) в 2018 г. для изучения возможностей сетей связи до 2030 г. и в последующий период, в который ожидается появление новых перспективных технологий: связи голографического типа, связи с быстрой реакцией в критических ситуациях и связи с высокой точностью определения местоположения для вертикальных отраслей развивающихся рынков. Исследования направлены на получение ответов на вопросы о том, какие типы сетевой архитектуры и механизмы поддержки подходят для новых технологий.

Фокус-группа NET-2030 проводила исследования новых механизмов и технологий связи без ограничения со стороны существующих сетей и сетевых парадигм или каких-либо конкретных существующих технологий. Структура фокус-группы и количество исследовательских вопросов показаны на рис. 1.6.

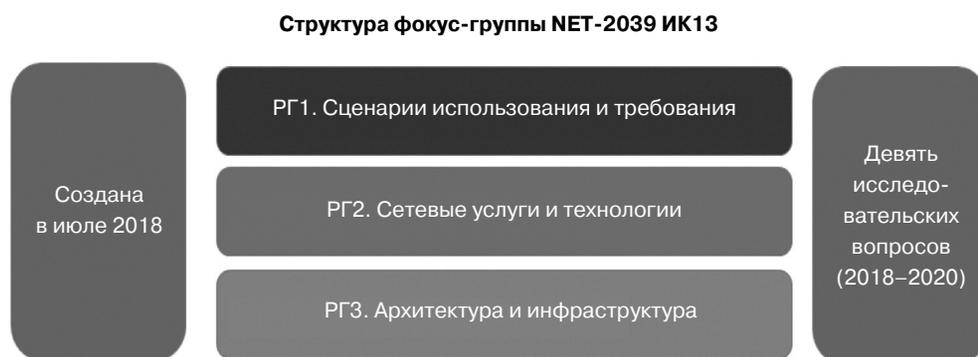


Рис. 1.6. Структура фокус-группы NET-2030

Основные направления деятельности фокус-группы NET-2030 включают:

- изучение, обзор и изыскания существующих технологий, платформ и стандартов в целях выявления пробелов и проблем на пути к сетям 2030 г., которые не поддерживаются существующими и ближайшими будущими сетями;
- формирование аспектов исследований, включая видение (облик) сетей NET-2030, требования, архитектуру, новые варианты использования, методологию оценки и т.д.;
- обеспечение руководящих принципов МСЭ для разработки дорожной карты стандартизации NET-2030;
- становление связей и отношений с другими исследовательскими группами;
- исследование перспектив сетей фиксированной передачи данных и технологий, в том числе исследования концепции применения протокола New IP, Интернета вещей, интеллектуальных сетей, промышленного управления, дистанционного управления автотранспортом, облачных технологий.

Одна из задач, которую ставила перед собой ФГ NET-2030 – исследовать будущее технологий mMTC (massive Machine Type Communications – массовые услуги связи между машинами), uRLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications – услуги передачи данных с высокой надежностью и низкой задержкой), eMBB (enhanced Mobile Broadband – улучшенная мобильная широкополосная связь) на период 2018–2020 гг.

За это время фокус-группа NET-2030 провела семь собраний и завершила свою деятельность. По результатам деятельности ФГ NET-2030 были выпущены следующие документы:

- 1) Белая книга МСЭ «Сеть-2030 – проект технологии, приложений и драйверов рынка на пути к 2030 году и далее» (май 2019 г.) [30];
- 2) отчет FG NET-2030 «Новые услуги и возможности для сети 2030: описание, технический разрыв и анализ целевых показателей производительности» (октябрь 2019 г.) [31];
- 3) технический отчет «Сети-2030 – дополнительное представление сценариев использования и ключевых требований к сетям-2030 (июнь 2020 г.) [32];
- 4) технический отчет «Сети-2030 – Gap-анализ новых услуг, возможностей и сценариев использования сетей-2030» (июнь 2020 г.) [33];

5) технические спецификации «Сети-2030 – термины и определения для сетей-2030» (июнь 2020 г.) [34].

Фокус-группа МСЭ-Т NET-2030 сформулировала ряд сценариев использования сетей 6G, из них семь типовых сценариев рассматриваются для использования с их ключевыми сетевыми требованиями:

- связь голографического типа (HTC);
- тактильный Интернет для удаленных операций (TIRO);
- интеллектуальная операционная сеть (ION);
- конвергенция сетей и облачных вычислений (NCC);
- цифровой двойник (DT);
- спутниково-наземная интегрированная сеть (STIN).

В ходе работ по сетям 6G Фокус-группой NET-2030 был предложен новый протокол New IP (новый IP) ввиду того, что существующая пропускная способность протокола IP и задержка не гарантируются текущим сквозным протоколом TCP/IP, который призван решить следующие задачи:

- радиодоступ в мобильных сетях не синхронизируется с управлением потоком TCP/IP, что ведет к избыточной повторной передаче пакетов в протоколе TCP, в результате чего снижается скорость передачи данных;
- неэффективно используются протоколы;
- существующий протокол не подходит для mMTC и uRLLC ввиду слишком низкой эффективности полезной нагрузки пользователя и отсутствия сквозной гарантии задержки.

Предложено начать разработку протокола New IP, т.к.:

- новый IP в настоящее время находится в стадии разработки инженерами и учеными-исследователями как из промышленности, так и из академических кругов различных стран;
- некоторые прототипы уже были представлены;
- некоторые операторы и поставщики услуг проявили большой интерес к новой технологии;
- стандартизация технологии еще не началась.

Предложенное фокус-группой NET-2030 расширение сценариев использования сетей 6G включало: голографическую связь, тактильный Интернет для удаленных операций, интеллектуальную операционную сеть, конвергенцию сетевых вычислений, цифровые двойники, наземно-космическую интегрированную сеть, промышленный IoT с облачностью, приложения для расширенных научных данных, приложения для анализа данных, передачу данных в режиме

реального времени, экстренное и аварийное спасение, национализированный Интернет вещей, подключение и обмен широко пространственными данными, моделями и знаниями ИИ.

На заключительном собрании фокус-группы NET-2030 перед ее закрытием были рассмотрены и утверждены:

- 1) технический отчет «Анализ недостающих услуг, возможностей и вариантов использования NET-2030»;
- 2) технический отчет «Дополнительные репрезентативные сценарии использования и требования к сети для NET-2030»;
- 3) техническая спецификация «Архитектура NET-2030»;
- 4) техническая спецификация «Термины и определения».

Далее эти отчеты и спецификации были переданы для рассмотрения на исследовательскую комиссию МСЭ-Т ИК-13.

Работа по тематике сетей 6G в секторе радиосвязи МСЭ-Р. В 2020 г. вопрос исследования технологии сетей связи 6G перешел из ведения фокус-группы NET 2030 сектора стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) в сектор радиосвязи (МСЭ-Р) в 5-ю исследовательскую комиссию «Наземные радиослужбы» (ИК5).

В октябре 2020 г. была начата работа над новыми рекомендациями МСЭ-Р М. [IMT.VISION 2030], а также подготовлен новый отчет МСЭ-Р М. [IM4FWB] по использованию наземного компонента сети IMT для фиксированной беспроводной широкополосной связи и доклад о технических характеристиках, эксплуатационных аспектах и возможностях, связанных с конкретными промышленными и корпоративными приложениями использования IMT.

На текущий момент в рамках МСЭ-Р сети 6G получили название IMT-2030 по аналогии с рекомендацией МСЭ-Р М.2038 для сетей IMT-2020. Сам термин IMT-2030 окончательно не утвержден и будет уточняться в ходе дальнейших собраний МСЭ-Р.

На 37-м заседании рабочей группы WP 5D (март 2021 г.) была создана специальная рабочая подгруппа SWG. Цель подгруппы SWG – разработать проект новых рекомендаций МСЭ-Р М. [IMT.VISION 2030 AND BEYOND], определяющих облик системы 6G к 44-му собранию WP 5D (июнь 2023 г.) перед проведением Ассамблеи радиосвязи в 2023 г. (рис. 1.7).

В рекомендациях будут отражены основные технологические тренды развития систем IMT-2030 к 2030 г. и далее. Рекомендации определяют рамки и общие цели будущего развития IMT-2030 на 2030 г. и последующий период. В этих рекомендациях подробно будет описа-

на структура будущего развития ИМТ-2030, включая широкий спектр возможностей, связанных с предполагаемыми сценариями использования. Данные рекомендации разрабатываются с учетом развития ИМТ, определенного в рекомендациях МСЭ-R М.2083. Содержание рекомендаций будет включать: введение, мегатенденции в развитии технологий ИМТ-2030 на 2030 г. и далее, эволюцию и роль предыдущей технологии ИМТ-2020, сценарии использования ИМТ-2030, возможности системы ИМТ-2030, цели развития.

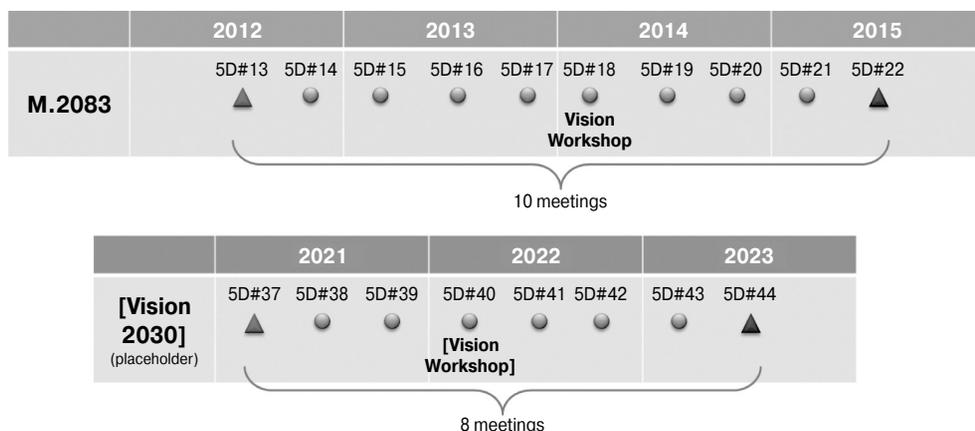


Рис. 1.7. Графики разработки облика систем ИМТ-2020 и ИМТ-2030

Данные рекомендации помогут стимулировать и направлять отрасли и администрации связи в дальнейшем развитии ИМТ-2030 на период до 2030 г. и далее. В рекомендациях основное внимание будет уделено роли ИМТ-2030 и тому, как система ИМТ сможет лучше служить обществу в будущем, также будет выработана основа и общие цели дальнейшего развития ИМТ на 2030 г. и последующий период. РГ 5D провела 14 июня 2022 г. отдельный семинар, посвященный разработке рекомендаций.

В рамках РГ 5D началась работа над проектом нового отчета МСЭ-R [IMT. FUTURE TECHNOLOGY TRENDS OF TERRESTRIAL IMT SYSTEMS TOWARDS 2030 AND BEYOND]. В предварительном рабочем плане определено, что отчет будет разработан в течение четырех собраний РГ 5D. В настоящий момент разрабатываются содержание и структура отчета.

В 2023 году была завершена разработка рекомендаций, а также внесены изменения в отчет М.2376, касающиеся возможности реализации ИМТ в полосах выше 6 ГГц.

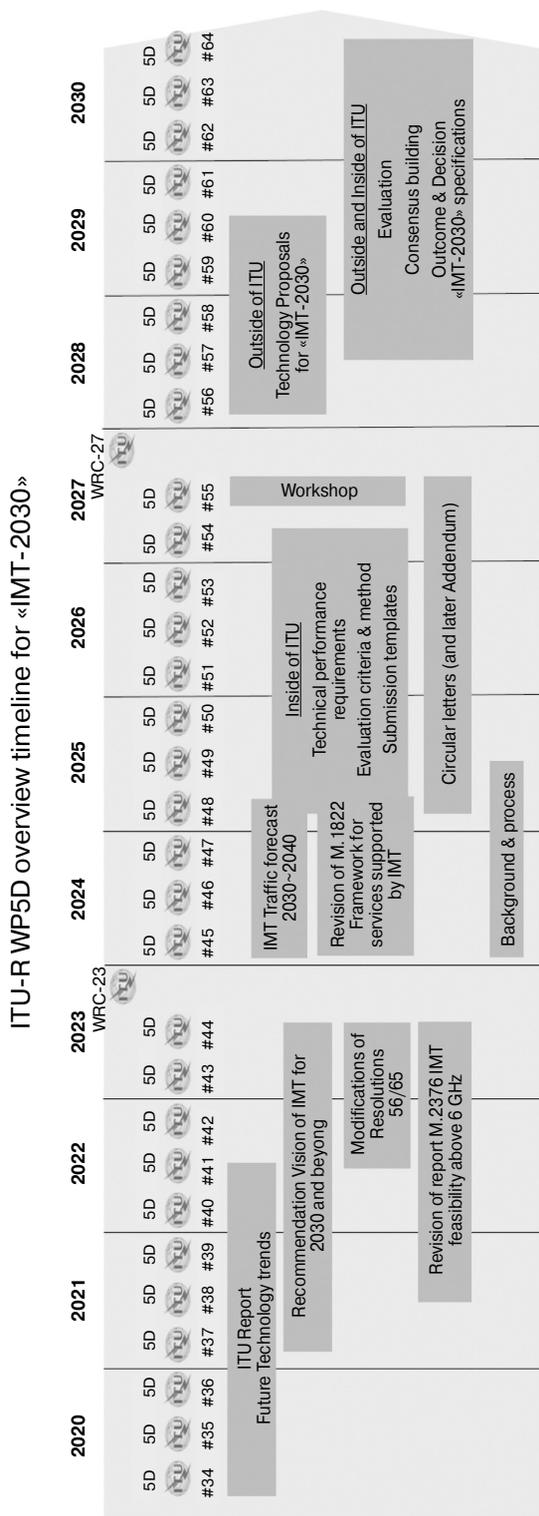


Рис. 1.8. Расписание рассмотрения вопросов IMT-2030 в РГ 5D

К 2026 г. будет завершена техническая оценка предложений по технологиям IMT-2030 и определены требования к сетям 6G. В 2028–2030 гг. будет завершена разработка спецификаций IMT-2030. Предложенное расписание рассмотрения вопросов IMT-2030 в рамках работы МСЭ-Р РГ 5D представлено на рис. 1.8.

В декабре 2022 года РГ 5D МСЭ-Р разработала и опубликовала новый Отчет МСЭ-Р М.2516 «Будущие технологические тенденции» [35]. В этом отчете представлен широкий взгляд на будущие технические аспекты наземной IMT системы с учетом временных рамок развития до 2030 года и далее с точки зрения внедрения ключевых новых услуг, тенденций применения и соответствующих факторов развития применительно к радиоинтерфейсам, мобильным терминалам и сетям радиодоступа в период до 2030 года и далее.

На собрании WP 5D МСЭ-Р в июне 2023 года была согласована работа над проектом новой Рекомендации МСЭ-Р «Структура и общие цели будущего развития IMT на 2030 год и последующий период», который можно рассмотреть в качестве основы для стандартизации и разработки следующего поколения стандартов IMT/6G.

В этом проекте Рекомендации рассматриваются:

- Тенденции, влияющие на создание IMT-2030;
- Сценарии использования IMT-2030;
- Возможности IMT-2030;
- Предложения по эволюционному развитию IMT-2030.

Кроме того, рабочая группа WP 5D МСЭ-Р начала работу над отчетом «IMT на пути к 2030 году и далее», применяя процесс исследований для IMT, который уже был реализован для IMT-2000, IMT-Advanced и IMT-2020, в результате чего рабочей группой WP 5D были разработаны ряд Рекомендаций МСЭ-Р: М.1457 [36], М.2012 [37] и М.2150 [38]. Планируется разработать в рамках деятельности МСЭ-Р отчет «Техническая осуществимость IMT в полосах частот выше 100 ГГц».

Прошедшая Ассамблея радиосвязи 2023 года (AP-23) утвердила пересмотренную версию Резолюции МСЭ-Р 56, подтвердив название следующего поколения IMT (также известного как «6G») как «IMT-2030», а также Резолюцию МСЭ-Р 65, в которой описываются принципы исследования и стандартизации IMT-2030. Наряду с этими изменениями AP-23 также утвердила новую Рекомендацию МСЭ-Р М. 2160 «Структура и общие цели будущего развития IMT на 2030 год и последующий период» [39].

Литература к главе 1

1. Report ITU-R M.2370-0 (07/2015). IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030.
2. Рекомендация ITU-R M.2083-0. Концепция IMT – основы и общие задачи будущего развития IMT на период до 2020 года и далее (2015).
3. Тихвинский В.О., Бочечка Г.С. Концептуальные аспекты создания 5G // Электросвязь. 2013. № 10.
4. Тихвинский В.О. Стандартизация мобильной связи 5G как процесс создания инфраструктурной основы цифровой экономики // Электросвязь. 2018. № 11.
5. ITU-T TSAG meeting on 11 November 2005.
6. 3GPP TS 38.201. NR; Physical Layer – General Description.
7. 3GPP TS 38.202. NR; Services provided by the physical layer.
8. 3GPP TS 38 104. NR; Base Station (BS) radio transmission and reception.
9. 3GPP TS 38 101. NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception.
10. 3GPP TR 38 817-1. NR; General aspects for UE RF for NR.
11. 3GPP TR 38 817-2. NR; General aspects for BS RF for NR.
12. 3GPP TR 38 813. NR; New frequency range for NR (3.3–4.2 GHz).
13. 3GPP TR 38 901. NR; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz.
14. 3GPP TS 38.300. NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2.
15. 3GPP TS 38.401. NG-RAN; Architecture description.
16. 3GPP TS 23.501. System Architecture for the 5G System; Stage 2.
17. 3GPP TR 23.799. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces.
18. 3GPP TR 29.891. 5G System – Phase 1; CT WG4 Aspects.
19. 3GPP TR 38.801. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces.
20. 3GPP TS 38.470. NG-RAN; F1 general aspects and principles.
21. 3GPP TS 38.420. NG-RAN; Xn general aspects and principles.
22. 3GPP TR 21.917. Release description; Release 17.
24. 3GPP TR 21.918. Release description; Release 18.
25. 3GPP TS 23.501. System Architecture for the 5G System; Stage 2.
26. GSMA Report. From Vertical Industry Requirements to Network Slice Characteristics, GSMA, August 2018.
27. 5G Evolution: 3GPP Releases 16–17, 5G Americans, January 2020.
28. A 5G Americans White Paper: 3GPP Releases 16&17&Beyond, 5G Americans, January 2021.
29. Ghosh A., Maeder A., Baker M., Chandramouli D. 5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15, Open Access Journal, Volume 7, IEEE, 2019 DOI: 0.1109/ACCESS.2019.2939938.
30. Белая книга МСЭ. Сеть-2030 – проект технологии, приложений и драйверов рынка на пути к 2030 году и далее (май 2019 года).

31. Отчет FG NET-2030. Новые услуги и возможности для сети-2030: описание, технический разрыв и анализ целевых показателей производительности (октябрь 2019 г.).
32. Технический отчет. Сети-2030 – дополнительное представление сценариев использования и ключевых требований к сетям-2030 (июнь 2020 г.).
33. Технический отчет. Сети-2030 – Гар-анализ новых услуг, возможностей и сценариев использования сетей-2030 (июнь 2020 г.).
34. Технические спецификации. Network-2030 – термины и определения для сетей-2030 (июнь 2020 г.).
35. Отчет МСЭ-R М.2516 – Будущие технологические тенденции наземных систем ИМТ к 2030 году и в последующий период.
36. Рекомендация МСЭ-R М.1457 – Подробные спецификации наземных радиointерфейсов Международной мобильной электросвязи-2000 (ИМТ-2000).
37. Рекомендация МСЭ-R М.2012 – Подробные спецификации наземных радиointерфейсов усовершенствованной международной мобильной электросвязи (ИМТ-Advanced).
38. Рекомендация МСЭ-R М.2150 – Подробные спецификации наземных радиointерфейсов Международной мобильной электросвязи-2020 (ИМТ-2020).
39. Рекомендация МСЭ-R М. 2160 «Структура и общие цели будущего развития ИМТ на 2030 год и последующий период».

ГЛАВА 2

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ ПО РАЗВИТИЮ ТЕХНОЛОГИЙ 5G

Успехи в развитии мобильных сетей связи и показатели рынка мобильных услуг не позволили ученым и разработчикам остановиться на достигнутом в ходе эволюции цепочки технологий 4G (LTE – LTE Advanced – LTE Pro). Начиная с 2013 г. ряд ведущих мировых производителей телекоммуникационного оборудования и операторов мобильной связи (Ericsson, Samsung, Huawei, Vodafone и др.) на всемирных форумах (MWC-13, LTE World Summit-13 и др.) анонсировали начало исследовательских проектов по созданию технологии мобильной связи поколения 5G [1, 2].

Европейское сообщество в рамках начатых проектов исследований по 5G стремится решить задачу технологического лидерства Европы на мировом телекоммуникационном рынке и создания новых рабочих мест в индустрии ИКТ.

Российская Федерация в рамках реализации плана мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации» приступила к разработке национальной концепции создания 5G и современной регуляторной базы для будущих операторов 5G, что требуется для скорейшего внедрения сетей 5G, чтобы занять достойное место среди стран, создавших инфраструктуру сетей связи 5G к 2020 г.

2.1. Ассоциации 5G-PPP и 5G AI как государственно-частные партнерства ЕС для создания 5G

Государственно-частное партнерство 5G-PPP (далее – Ассоциация 5G-PPP) в рамках *Horizon 2020* («Горизонт 2020») Европейского Союза является крупнейшей исследовательской программой в мире по системе 5G, которая станет будущей глобальной сетью связи [3]. Создание мобильной системы связи 5G в Европе основывается на исследовательских проектах, начатых уже в предыдущей рамочной исследовательской программе ЕС (программа FP 7), которые положили путь к видению и базовым понятиям 5G. Исследования в рамках 5GPPP имеют очень широкий охват далеко за пределами

классических телекоммуникаций. Текущее видение 5G-PPP и технические требования представлены в документе 5G, который был принят на Всемирном мобильном конгрессе (MWC-15) в Барселоне в марте 2015 г.

В декабре 2013 г. Ассоциацией 5G-PPP был подписан договор с Еврокомиссией (ЕК), представляющей государственную сторону, и Ассоциацией инфраструктуры 5G, которая представляет частную сторону в данном государственно-частном партнерстве (ГЧП). Государственно-частное партнерство ЕК и Ассоциации инфраструктуры 5G для реализации исследовательской программы «Горизонт-2020» предназначено для развития промышленности, укрепления европейской экономики и влияния на будущие глобальные стандарты, основанные на исследованиях 5G в Европе.

Ассоциация 5G-PPP объединяет множество заинтересованных сторон отрасли связи: крупнейших операторов сетей связи, малые и средние предприятия, научно-исследовательские центры и университеты. Ассоциация 5G-PPP основана на участии избранных членов Европейской технологической платформы Networld2020 и поддерживает принципы открытости, прозрачности и репрезентативности европейского сектора телекоммуникаций.

Общая цель другой Ассоциации инфраструктуры 5G (5G IA) состоит в том, чтобы продвигать НИОКР для промышленности сетей связи в целях укрепления этой индустрии в Европейском Союзе, развития технологий в Европе путем привлечения студентов, повышения конкурентоспособности европейской промышленности за счет предоставления новых инструментов и возможностей производства оборудования 5G в Европе. Ассоциация 5G IA сотрудничает с Еврокомиссией в разработке рабочей программы по 5G в рамках программы «Горизонт-2020» через специальный партнерский совет, в котором обсуждается программа работы 5G и другие виды деятельности для продвижения проектов Ассоциации 5G-PPP и результатов в глобальном масштабе. Кроме того, ассоциация работает над интеграцией Европейского сообщества, и в частности малых и средних предприятий, в европейские совместные исследовательские проекты. Ассоциация 5G IA заключила меморандумы о взаимопонимании с контрагентами в Китае, Корее, Японии, Северной Америке и Бразилии.

Ассоциация 5G-PPP в настоящее время осуществляет работы второго этапа своей деятельности: так, в июне 2017 г. в Брюсселе был

запущен 21 новый проект. На втором этапе (в ближайшее десятилетие) 5G-PPP будет разрабатывать и поставлять решения, архитектуры, технологии и стандарты для телекоммуникационной инфраструктуры следующего поколения. Это обеспечит такие возможности, как 1000-кратное увеличение пропускной способности беспроводной сети, обслуживающей более семи миллиардов человек (при подключении семи триллионов устройств Интернета вещей), и экономия 90% энергии за предоставление услуг, создание безопасного, надежного Интернета с нулевым временем простоя для услуг.

Задача государственно-частного партнерства 5G-PPP также состоит в том, чтобы обеспечить лидерство ЕС в тех областях телекоммуникаций, где Европа имеет сильные технологические позиции или где есть потенциал для создания единого цифрового рынка: например, в таких секторах, как умные города, электронное здравоохранение, интеллектуальный транспорт, образование или развлечения, СМИ. Инициативы ассоциации 5G-PPP направлены на укрепление европейской телекоммуникационной отрасли, чтобы успешно конкурировать на мировых рынках и открывать новые инновационные возможности.

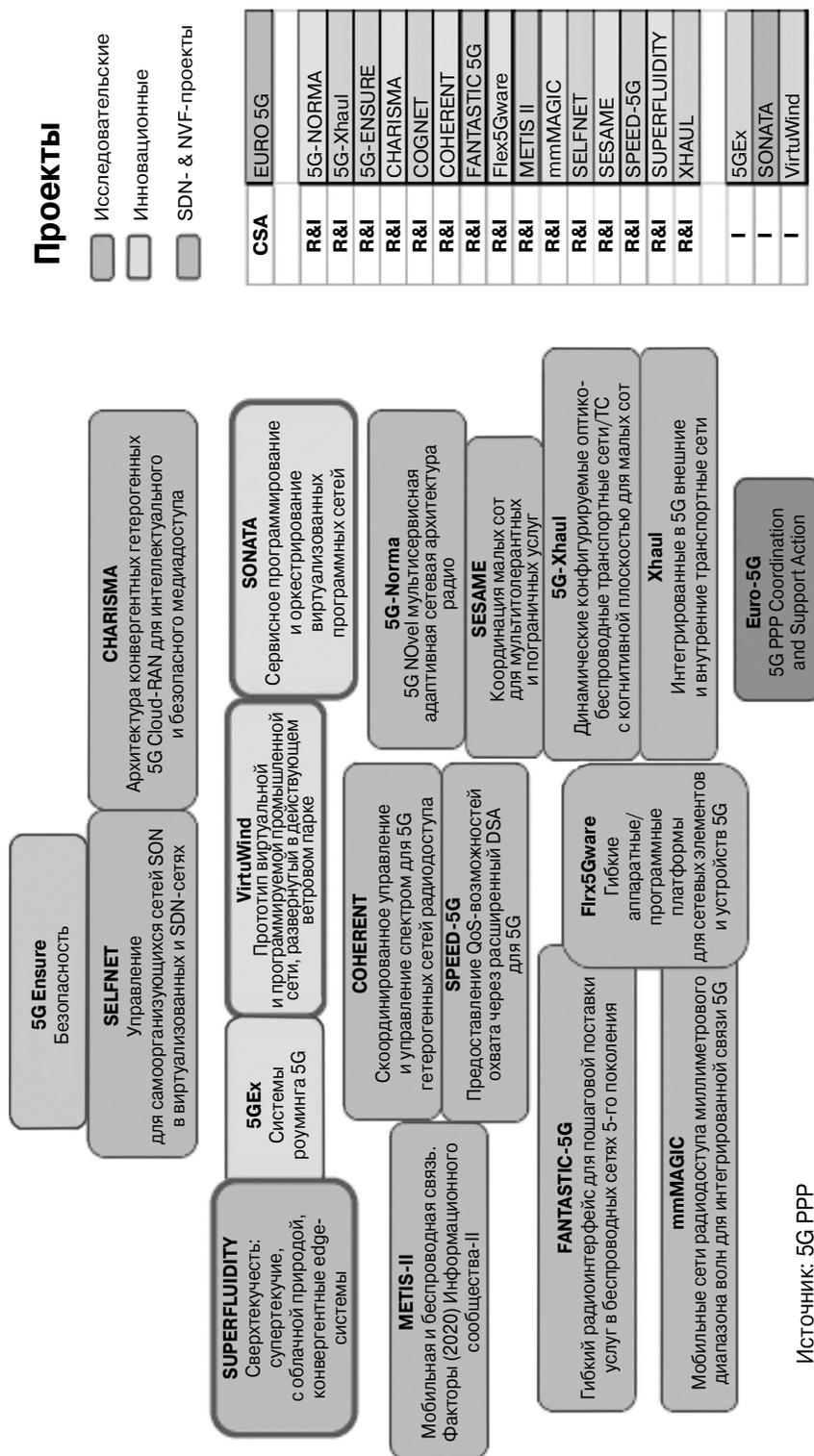
2.2. Обзор программы ЕС FP8 «Горизонт-2020» в части исследовательских проектов создания 5G

Программа «Горизонт-2020» или Восьмая рамочная программа Европейского Союза по развитию научных исследований и технологий (FP8), – семилетняя программа финансирования Европейского Союза для поддержки и поощрения исследований в Европейском исследовательском пространстве в период с 2014 по 2020 гг. В рамках этой программы выделены телекоммуникационные проекты, составившие телекоммуникационный пакет, управляемый Ассоциацией 5G PPP, в целях привлечения частных инвестиций в государственно-частое партнерство с начальными инвестициями со стороны Еврокомиссии (ЕК) в размере 700 млн евро.

Согласно плану Ассоциации 5G-PPP ведущие производители мировой телекоммуникационной отрасли увеличат инвестиционный фонд ЕК как минимум в пять раз, в результате чего общий объем инвестиций в исследовательские работы 5G-PPP составит более 4 млрд евро. В рамках первой фазы программы FP8 «Горизонт-2020» (2015–2017 гг.) запланировано финансирование 19 проектов по различным направлениям создания сетей 5G, обобщенных на основе 83 предложений, полученных ЕС от членов Ассоциации 5G PPP (рис. 2.1).

Проекты

- Исследовательские
- Инновационные
- SDN- & NVF-проекты



Источник: 5G PPP

Рис. 2.1. Первая фаза телекоммуникационных проектов программы FP8 «Горизонт-2020» (источник: 5G-PPP)

Первая фаза телекоммуникационных проектов программы FP8 «Горизонт-2020» стартовала в июле 2015 г., и большинство проектов было завершено к середине 2017 г., а оставшаяся часть проектов была завершена в середине 2018 г. Результаты этих проектов составили технологическую основу технических спецификаций релиза 15 (приложение 2) и преследовали следующие цели и задачи при их реализации [5].

Проект 5G-ENSURE (5G Enablers for network and system security and resilience). Общая цель 5G-ENSURE – стать эталонным проектом по вопросам информационной и сетевой безопасности в экосистеме 5G, внося вклад в устойчивость сетей 5G. Проект был сосредоточен на разработке архитектуры безопасности 5G, способной создать необходимую гарантию и уверенность в том, что сети 5G будут широко использоваться и выполнять свои функции с помощью приложений.

Проект 5G Exchange (5GEx). Общая цель проекта 5GEx – обеспечить эффективное междоменное оркестрирование служб через несколько сетевых уровней, а также многодоменное оркестрирование для отдельных административных слоев 5G. Такое объединенное управление позволяет создавать сквозные виртуальные сети и службы в средах при использовании нескольких поставщиков сетевого оборудования и гетерогенных технологий. Чтобы преодолеть традиционное разделение сетевых ресурсов между процессами вычисления и хранения, проект 5GEx также реализует составные сервисы, плавно объединяя сети с функциями вычислений и хранения данных в разных сетевых доменах.

Проект 5G NORMA (NOvel Radio Multiservice adaptive network Architecture for 5G networks). Основной целью проекта NORMA является разработка концептуально новой, адаптивной и перспективной архитектуры мобильной сети 5G. Используется инновационная концепция адаптивной декомпозиции и распределения функций мобильной сети, которая гибко распределяет функции сети и размещает их в наиболее подходящем месте в сетевой архитектуре. Функции доступа и ядра сети больше не находятся в разных местах и могут использоваться для совместной оптимизации работы сети, когда это возможно. Архитектура обеспечивает высокий уровень настройки сети, гарантирующий соблюдение жестких требований к производительности, безопасности, стоимости и энергии, а также предоставление управляемых API для архитектурной открытости,

способствующей экономическому выигрышу благодаря передовым инновациям.

Проект 5G-XHaul (Dynamically Reconfigurable Optical-Wireless Backhaul / Fronthaul with Cognitive Control Plane for Small Cells and Cloud-RANs). Целью проекта 5G-XHaul является конвергентное оптическое и беспроводное транспортное решение, способное гибко подключать микросоты (Small Cells) к базовой сети. Используя мобильность пользователей, это решение должно позволять динамически распределять сетевые ресурсы на «горячие точки». Проектирование транспортной сети для плотной городской застройки с массивным развертыванием малых сот является ключевым сценарием использования сети для проекта 5G-XHaul.

Проект CHARISMA (Converged Heterogeneous Advanced 5G Cloud-RAN Architecture for Intelligent and Secure Media Access Project name). Целью проекта CHARISMA является объединение 10G беспроводной сети (через MM-wave / 60-ГГц и свободную оптику, FSO) и фиксированных оптических решений 100G (OFDM-PON) через интеллектуальную облачную сеть радиодоступа (C-RAN) и интеллектуальную платформу управления ресурсами (RRH) с маршрутизацией IPv6 Trust Node с очень низким уровнем трафика управления. Низкозатратный Ethernet планируется использовать на первичной (front) и вторичной (backhaul) транспортных сетях с виртуализированным оборудованием конечного пользователя (vCPE), разведкой, распределенной по задним, фронтальным и периметрическим транспортным данным. Кроме того, проект CHARISMA будет использовать сетевые возможности программирования и технологии виртуализации для обеспечения многопользовательской работы и быстрого внедрения новых сетевых приложений.

Проект CogNet (Cognitive networks). Цель проекта CogNet – исследовать и разрабатывать платформу сетевого управления в режиме реального времени с возможностью масштабирования для удовлетворения потребностей будущей сети 5G, собирать и обрабатывать большие данные из сети 5G в режиме реального времени, создавать новые алгоритмы, использующие машинное обучение, чтобы обучаться на собранных данных и применять их к управлению сетью.

Проект COHERENT (Coordinated control and spectrum management for 5G heterogeneous radio access networks) направлен на исследование, разработку и демонстрацию единой программируемой системы управления для гетерогенных сетей радиодоступа 5G. Проект будет

посвящен трем нововведениям в области управления и координации сетей 5G:

- 1) программно определяемая сеть для сети радиодоступа, чтобы обеспечить масштабируемую и гибкую структуру управления и координации для комплексной координации ресурсов и управления использованием спектра в сетях 5G;
- 2) эффективное моделирование и управление радиоресурсами в программируемых сетях радиодоступа с четко определенными интерфейсами управления и протоколами, чтобы значительно упростить управление гетерогенными мобильными сетями, которые должны быть проверены различными вариантами использования 5G;
- 3) гибкое управление спектра, основанное на использовании спектра структуры управления COHERENT, поддерживающей различные схемы доступа к спектру, включая, помимо прочего, лицензионное совместное использование спектра (шеринг), доступ к лицензиям и гибкий дуплекс в сетях радиодоступа 5G.

Проект EURO-5G (Supporting the European 5G Initiative). Главная цель проекта EURO-5G – способствовать сотрудничеству и интеграции проектов Ассоциации 5G PPP, Европейской комиссии, Ассоциации инфраструктуры 5G AI, Network2020 ETP, а также смежных проектов EUREKA и национальных инициатив 5G. Эти проекты максимизируют европейские усилия по созданию будущих интегрированных обеспечивающих сплошное покрытие сверхскоростных сетей 5G. Проект EURO-5G тесно связан с проектом Ассоциации инфраструктуры 5G и обеспечивает интеграцию европейской промышленной политики с планами работы проектов 5G в рамках программы проекта EURO-5G, чтобы результаты были полезны и актуальны.

Проект FANTASTIC-5G (Flexible Air iNTerfAce for Scalable service delivery wiThIn wIreless Communication networks of the 5th Generation). Главная задача проекта FANTASTIC-5G – разработка модульного радиоинтерфейса, который способен поддерживать все ожидаемые возможности 5G с максимальной эффективностью и масштабируемостью, не будучи чрезмерно сложным для сетевой реализации. С этой целью в проекте разрабатываются технические компоненты искусственного интеллекта (ИИ), например гибкая форма сигнально-кодированной конструкции сигнала и конструкция кадра, масштабируемые

процедуры множественного доступа, адаптивные схемы повторной передачи, усовершенствованные схемы с несколькими антеннами с/без взаимодействия, расширенное обнаружение множества пользователей, координация помех, поддержка сверхплотной структуры сот, многоуровневое управление радиоресурсами, устройство – устройство и интеграция их в общую структуру ИИ, в которой будет достигнута адаптация к высокой степени гетерогенности 5G.

Проект FLEX5GWARE (Flexible and efficient hardware / software platforms for 5G network elements and devices). Целью проекта Flex5Gware было проведение исследований, разработки и прототипирования ключевых блоков, сетевых элементов и устройств 5G как в аппаратных (HW), так и в программных (SW) доменах. Общая цель проекта Flex5Gware заключалась в том, чтобы разработать высококонвертируемые аппаратные платформы HW вместе со средами знаний HW и SW, ориентированными как на сетевые элементы 5G Core, так и на устройства, а также, с учетом необходимости увеличения пропускной способности, снизить энергопотребление и обеспечить масштабируемость и модульность для плавного перехода от 4G к эпохе 5G.

Проект METIS-II (Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society-II). Цель проекта METIS-II – было обеспечение общего проектирования сети радиодоступа 5G, описывающего общую архитектуру стека протоколов со всеми функциональными возможностями и интерфейсами, необходимыми для обеспечения сети 5G. METIS-II преследует также следующие ключевые цели: разработать общий проект 5G RAN, уделяя особое внимание созданию технологии для эффективной интеграции концепций старой 4G и новой сети радиодоступа (RAN) в одну единую систему 5G.

Проект mmMAGIC (Millimetre-Wave Based Mobile Radio Access Network for Fifth Generation Integrated Communications). Цель проекта mmMAGIC заключается в разработке концепций и ключевых компонентов для новой технологии беспроводного радиодоступа 5G, которая будет работать в диапазоне частот от 6 до 100 ГГц, включая миллиметровый диапазон волн. Области спектра, подходящие для поддержки выявленных случаев использования 5G, должны быть идентифицированы и оценены.

Проект SELFNET (Framework for Self-Organised Network Management in Virtualised and Software Defined Networks). Целью проекта SELFNET

является внедрение функций самоконтроля и обнаружения сетевых проблем, позволяющих своевременно информировать о состоянии сетевой инфраструктуры 5G с помощью настраиваемого и расширяемого набора показателей функционирования высокого уровня и состояния сети (HoN). К другим особенностям проекта SELFNET относится возможность реализовать распределенный механизм автономной самоорганизующейся сети 5G Self-Organizing Network (SON), основанной на технологиях искусственного интеллекта (ИИ) и связанных с ними технологиях, обеспечивающих посредством SON оркестрирование и управление виртуальной инфраструктурой сети 5G.

Проект SESAME (Small cell coordination for multi-tenancy and edge services). Целью проекта SESAME является создание инновации для трех главных элементов сети 5G: внедрение искусственного интеллекта и приложений на границе сети для граничных вычислений Edge Cloud Computing с использованием функций сетевой виртуализации (NFV); пересмотр концепции Small Cell, уже используемой в сети 4G, для применения в сложных сценариях развертывания сетей 5G в зонах с высокой плотностью сот и трафика; а также консолидация многоуровневой работы в инфраструктуре сетей связи, позволяющая нескольким операторам/поставщикам услуг участвовать в новых моделях совместного доступа с высокой пропускной способностью и с возможностью использования граничных вычислений.

Проект SONATA (Service Programing and Orchestration for Virtualized Software Networks). Цель проекта SONATA – обеспечение гибкой программируемости программно определяемых сетей, поддерживающих цепочки сетевых функций и оркестрирование сети 5G. Проводимые исследования должны сделать модульными и более легкими сервисные платформы для удовлетворения потребностей различных поставщиков услуг, а также представить специализированную модель DevOps для поддержки разработчиков, расширить возможности пропускной способности сети 5G и граничных вычислений. Конкретные цели проекта SONATA также включают сокращение времени выхода на рынок сетевых услуг за счет: а) оптимизации разработки с использованием абстрактных моделей программирования и SDK и б) применения модели DevOps, которая объединяет операторов, производителей и сторонних разработчиков приложений.

Проект SPEED-5G (Quality of Service Provision and capacity Expansion through Extended-DSA for 5G). Целью проекта SPEED-5G явля-

ется достижение значительно лучшей эксплуатации гетерогенных беспроводных технологий, обеспечивающих более высокую пропускную способность вместе с технологией ультрауплотнения сот и эффективного поддержания новых требований к качеству восприятия услуг 5G (QoE).

Проект SUPERFLUIDITY (Superfluidity: a super-fluid, cloud-native, converged edge system). Цель проекта SUPERFLUIDITY – создать сетевой процесс виртуализации сетей по требованию из элементов сторонней инфраструктуры, распределенный по всей сети E2E, и разработать технологии, позволяющие таким услугам быть «сверхтекучими»: быстрое время инсталляции (миллисекунды), быстрая миграция (сотни миллисекунд), высокая консолидация (запуск тысяч на одном сервере), высокая пропускная способность (10 Гбит/с и выше).

Проект VIRTUWIND (Virtual and programmable industrial network prototype deployed in operational Wind park). Целью проекта VirtuWind является разработка экосистемы SDN и NFV для промышленных доменов, основанной на открытой, модульной и безопасной инфраструктуре сетей связи, что приведет к демонстрации прототипов для внутридоменных и междоменных сценариев в реальных ветровых парках в качестве типового случая использования промышленных сетей и позволит количественно оценить экономические выгоды от этих решений.

Вторая фаза телекоммуникационных проектов программы «Горизонт-2020» включает 21 новый проект 5G PPP и составлена на основе обобщения 101 предложения, полученного ЕС в ответ на опрос участников Ассоциации 5G PPP (рис. 2.2) [6]. Дорожная карта их выполнения запланирована на срок с 1 июля 2017 г. до середины 2020 г. к моменту завершения программы FP8.

Результаты этих проектов составили технологическую основу релиза 16 и соответствовали целям и задачам второй фазы развития сетей 5G, направленным на реализацию бизнес-моделей uRLLC и mMTC [7].

Проект 5GCAR (Fifth Generation Communication Automotive Research and innovation). Координатор проекта – Dr. Mikael Fallgren из компании Ericsson. Целью проекта 5GCAR является разработка общей системной архитектуры 5G, обеспечивающей оптимизированную сквозную V2X-сеть для высоконадежных и низкокзатратных V2X-сервисов, которая обеспечивает безопасность и конфиденциальность, управляет качеством обслуживания и поддерживает управление потоками трафика в многоканальной V2X-системе связи с возможностями

использования нескольких технологий радиодоступа (мульти-RAT), а также межсетевое взаимодействие мультитехнологичных сетей радиодоступа, которое позволяет внедрять существующие телекоммуникационные решения и новое решение 5G V2X.

Проект 5GCity (A distributed Cloud & Radio Platform for 5G Neutral Hosts). Координатор проекта – Dr. Sergi Figuerola из компании FUNDACIÓ I2CAT. Целью проекта 5GCity является максимизация отдачи от инвестиций для всей цепочки цифрового рынка (пользователи, приложения, облачные провайдеры (например муниципалитеты), поставщики телекоммуникационных услуг и объектов инфраструктуры). Таким образом, проект 5GCity будет разрабатывать, развертывать и обеспечивать условия эксплуатации, распределенное использование облачных и радиоплатформ для муниципалитетов и владельцев инфраструктуры, которые являются нейтральными по отношению к собственникам сетей 5G.

Проект 5G ESSENCE (Embedded Network Services for 5G Experiences). Координатор проекта – Dr. Ioannis P. Chochliouros из компании Hellenic Telecommunications Organization S.A. – OTE (EL).

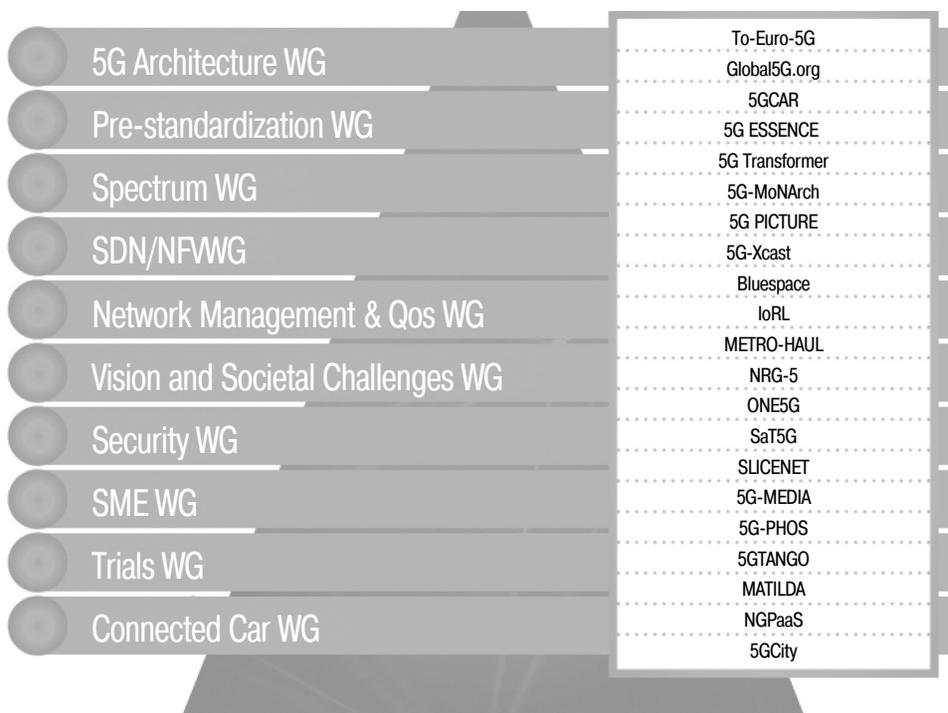


Рис. 2.2. Вторая фаза телекоммуникационных проектов 5G программы «Горизонт-2020» (источник: 5G-PPP)