

УДК 621.396.1

## **Базовые станции и абонентское оборудование 5G: анализ технических требований к ЭКБ<sup>1</sup>**

Филиппов И. Ф.

*Севастопольский государственный университет*  
*ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация*  
*IFFilippov@sevsu.ru*

Получено: 1 марта 2021 г.

Отрецензировано: 9 марта 2021 г.

Принято к публикации: 10 марта 2021 г.

**Аннотация:** В статье представлен краткий обзор современного состояния и перспектив развития телекоммуникационных сетей пятого поколения (5G). Проанализированы ключевые характеристики стандарта и технологии 5G. Проведен обзор сценариев применения и оказания услуг мобильной связи в сетях 5G. Рассмотрены архитектура и основные технические требования к оборудованию базовых и абонентских станций 5G, представленные в технических спецификациях 3GPP. Приведены результаты краткого аналитического обзора современного состояния технологий и разработок в области электронной компонентной базы (ЭКБ) сетей мобильной связи 5G в мире и в России. Сформулированы общие требования к ЭКБ радиоэлектронного оборудования для данных приложений.

**Ключевые слова:** 3GPP, 5G, базовая станция, абонентское оборудование, ЭКБ.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Филиппов И. Ф. Базовые и абонентские станции 5G : анализ технических требований к ЭКБ // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 4. С. 409—423.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011):** Филиппов, И. Ф. Базовые и абонентские станции 5G : анализ технических требований к ЭКБ / И. Ф. Филиппов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 409—423.

---

<sup>1</sup> Статья является расширенной версией доклада, представленного на 30-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2020 (Севастополь, РФ, 6—12 сентября 2020 г.).

# 5G base stations and user equipment: analysis of technical requirements for electronic components

I. F. Filippov

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

IFFilippov@sevsu.ru

Received: March 1, 2021

Peer-reviewed: March 9, 2021

Accepted: March 10, 2021

**Abstract:** *The article presents a brief overview of the fifth-generation (5G) telecommunication networks' current state and development perspectives. The key characteristics of the 5G standard and technology are analyzed. An overview of application and provision scenarios of mobile communication services in 5G networks is carried out. The architecture and basic technical requirements for the 5G base and user station's equipment, presented in the 3GPP technical specifications, are considered. The outcome of the brief analytical review of the technologies and developments current state in the field of electronic components base for 5G mobile communication networks in the world and Russia are presented. General requirements for electronic components of radio electronics equipment for these applications are formulated.*

**Keywords:** 3GPP, 5G, base station, user equipment, electronic components

**For citation (IEEE):** I. F. Filippov "5G base stations and user equipment: analysis of technical requirements for electronic components," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 409–423, 2020. (In Russ.).

## 1. Введение

В настоящее время человечество столкнулось с глобальными вызовами, связанными с четвертой промышленной революцией («Индустрией 4.0») и третьей волной цифровой трансформации. Причиной этого является стремительное развитие сфер информационно-телекоммуникационных технологий и систем с искусственным интеллектом. Ключевыми технологиями «Индустрии 4.0» являются: интернет вещей (англ. internet of things, IoT); виртуальная и дополненная реальности (англ. virtual reality, VR и augmented reality, AR соответственно); большие данные (англ. big data). Телекоммуникационной основой этих технологий являются системы мобильной связи четвертого поколения (англ. fourth generation, 4G) и но-

вые активно развивающиеся системы пятого поколения (англ. fifth generation, 5G).

Технология 5G являются ключевой на ближайшие 5—10 лет. Ее задача — обеспечить сверхбыструю, сверхнадежную, мобильную связь с низкими задержками, способную справиться с непрерывно нарастающими требованиями к передаче данных со стороны мирового бизнеса и рядовых пользователей.

Стандартизацию технологии 5G осуществляют крупнейшие мировые телекоммуникационные организации:

- Международный союз электросвязи (МСЭ, англ. International Telecommunication Union, ITU);
- Консорциум 3GPP;
- Европейский институт телекоммуникационных стандартов (англ. European Telecommunications Standards Institute, ETSI);
- Консорциум 5G PPP.

Подразделениями радиосвязи и стандартизации МСЭ были изучены перспективы сетей подвижной связи пятого поколения. Закончив исследования, оперативная группа ИМТ-2020 подразделения стандартизации МСЭ сформулировала и приняла концепцию систем связи 5G, которую опубликовала в [1]. К началу 2017 г. оперативной группой ИМТ-2020 был подготовлен список рекомендаций и технических отчетов [2], которые определили развернутые требования к архитектуре сетей 5G.

Консорциум 3GPP начал работу над спецификацией к технологии радиодоступа сетей пятого поколения 5G-New Radio (5G-NR) в 2015 г., и согласно план-графику работы по стандартизации завершил первые два этапа развития (Релизы 15 и 16) к концу 2020 г. (рис. 1) [3]. Спецификации 3GPP, прежде всего, ориентированы на компании, занимающиеся разработкой и производством телекоммуникационного оборудования. Основная цель — обеспечить кратчайшие сроки запуска в коммерческую эксплуатацию первых сетей 5G [4].

В рамках релизов 15 и 16 3GPP установила технические и ЭМС-характеристики радиооборудования сетей 5G исходя из реализуемости этих требований и необходимости последующего тестирования оборудования 5G на соответствие сертификационными центрами. Релиз 17 предлагает новые сценарии использования мобильной связи. 5G-NR тип машинных коммуникаций будет дополнен новым типом устройств «NR Light», специально предназначенных для поддержки промышленных беспроводных сенсорных сетей. Приоритетом будет являться снижение энергопотребления и повышения автономности устройств. Развитие в рамках

релиза 17 получат алгоритмы работы систем MIMO, IAB и др. Будет стандартизирована работа 5G-NR на частотах выше 52 ГГц [5].

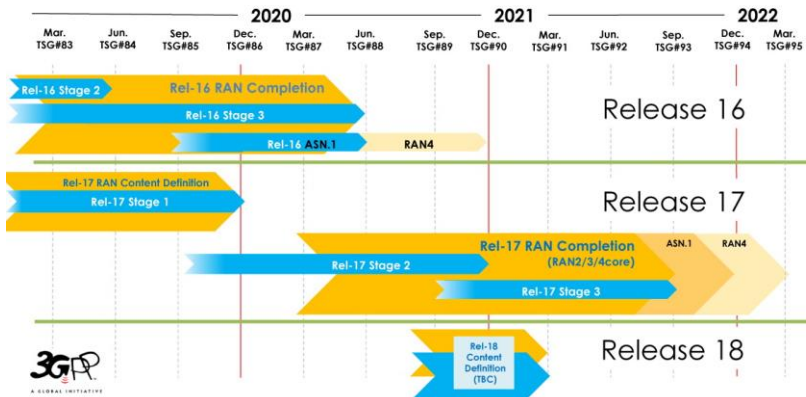


Рис. 1. План-график стандартизации 5G Консорциумом 3GPP на 2020—2022 г.

Fig. 1. 3GPP 5G Standardization Schedule for 2020–2022

Развитие систем мобильной связи 5G является одним из приоритетных направлений при создании новой, конкурентоспособной национальной экономики. Технологии 5G рассматриваются не только в качестве технического достижения телекоммуникационной отрасли, но и как важное условие для формирования цифровой экономики и стимулирования трансформации других отраслей. Ключевым фактором успешного запуска и эксплуатации сетей связи 5G является наличие комплексного государственного плана их создания и развития. В России разработан и утвержден паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [6], в рамках которой определены основные задачи по развитию инфраструктуры мобильной и спутниковой связи нового поколения и созданию инструментов планирования развития сетей связи и стимулирования отрасли связи сроками до конца 2024 г.

## 2. Характеристики и сценарии применения систем связи стандарта 5G

### 2.1. Ключевые характеристики технологии 5G

Спецификации 3GPP разработаны представителями телекоммуникационных институтов и компаний для решения широкого круга задач, каждая из которых обладает своей спецификой.

Спецификация TR 38.913 консорциума 3GPP [7] утвердила ключевые характеристики сервисов, предоставляемых сетями 5G:

— пиковые скорости передачи данных на линиях вниз (англ. downlink) и вверх (англ. uplink) — 20 Гбит/с (при спектральной эффективности, равной 30 бит/с/Гц) и 10 Гбит/с (при спектральной эффективности равной 15 бит/с/Гц) соответственно;

— задержки для сценариев сверхнадежной связи — 0,5 мс, для сервисов широкополосной связи — 4 мс;

— плотность подключения к сети абонентских устройств в городских условиях порядка 1 млн устройств/км<sup>2</sup>;

— автономность работы устройств до 10 лет;

— поддержка связи при передвижении объектов со скоростью до 500 км/ч.

Спецификация TS 38.211 [8] определяет рабочие диапазоны радиочастот для 5G:

— FR1 — частоты до 6 ГГц (англ. sub-6 GHz frequency bands);

— FR2 — частоты выше 6 ГГц (англ. mmWave frequency bands).

Диапазон FR1, в зависимости от используемого разноса радиочастот поднесущих, предполагает ширину одного радиоканала до 100 МГц. Диапазон FR2 — до 400 МГц. Применение агрегации частот позволит достигнуть ширины спектра 2 ГГц и более.

Большое внимание в стандарте уделено технологиям формирования луча (англ. beamforming) и MIMO (англ. multiple input multiple output). Антенные системы с динамическим формированием луча диаграммы направленности (ДН) позволяют разделить зону покрытия телекоммуникационных сетей, увеличив эффективность использования спектра и количество каналов. Технология Massive MIMO, в которой количество абонентских терминалов намного меньше, чем количество антенных элементов базовой станции (БС), является одной из ключевых при реализации систем мобильной связи 5G. Контроль фазы и амплитуды выходных сигналов позволяет динамически формировать множество лучей ДН в направлениях конкретных абонентов сети, обеспечить высокое отношение сигнал/шум на входе приемников, исключить влияние интерференции между сотами, значительно увеличить число каналов связи.

Технология излучения опорного сигнала (англ. sounding reference signal, SRS) дополняет технологию beamforming и позволяет БС отслеживать характеристики канала связи при получении специального пакета, принимаемого от абонентского оборудования (АО, англ. user equipment, UE).

Технология сетевой нарезки (англ. network slicing) позволяет разворачивать изолированные друг от друга сети, каждая из которых будет обладать набором индивидуальных характеристик. Так, для IoT будет воз-

можно обеспечить максимально широкую зону покрытия, для мобильной связи в общественном транспорте — широкую полосу и низкое значение времени задержки (отклика).

## 2.2. Сценарии применения технологии 5G

Стандарт 5G предполагает различные сценарии оказания услуг подвижной связи. Все они удовлетворяют тому или иному набору характеристик сети и нацелены на решение задач определенного направления рынка телекоммуникационных услуг. Спецификациями консорциума 3GPP [7] определены три сценария:

— сверхширокополосная мобильная связь (англ. enhanced mobile broadband, eMBB);

— сверхнадежная связь с низкими задержками (англ. ultra-reliable low latency communication, URLLC);

— массовая межмашинная связь (англ. massive machine-type communications, mMTC).

Сценарий eMBB актуален для действующих и перспективных приложений сервисов передачи потокового видео разрешений 4K и 8K.

Помимо этого, ключевым продуктом на ранних этапах развития сетей 5G должен стать сервис Sky Office. Его концепция предполагает перенос вычислительных мощностей ноутбуков, оснащенных 5G-модемом, в облачные сервисы. При этом абонент получит преимущества высокой автономности, безопасности данных в случае утраты устройства, отсутствия необходимости загрузки программного обеспечения, снижения массогабаритных параметров устройств.

Более того, новый импульс к развитию получают технологии VR и AR. Данные технологии смогут выйти за рамки игровой индустрии и найдут применение в образовании, медицине и промышленности.

Сценарий работы мобильных сетей 5G URLLC позволит реализовать концепцию «тактильного интернета» (ТИ). С помощью ТИ возможно будет учить (рисование, игра на музыкальных инструментах), удаленно проводить ответственные хирургические манипуляции и операции. На принципиально новый уровень смогут выйти сферы интернет-торговли, туристического бизнеса и музейного дела, игровая индустрия.

Низкий уровень задержек и массовость подключения являются приоритетными в отрасли разработки и применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Ответственными регулирующими органами в большом числе стран уже сейчас проводятся работы по стандартизации и обеспечению безопасности полетов БПЛА. Дроны-курьеры, спасатели,

пожарные, дроны для агротехнического комплекса в перспективе найдут применение на глобальном рынке.

Перспективным в рамках сценария URLLC является концепция беспилотного вождения C-V2X (англ. cellular vehicle to everything). Она предполагает передачу информации между транспортным средством (ТС) и любым «умным» объектом, который может повлиять на данное ТС. Данный подход позволяет обеспечивать коммуникацию с другими ТС (англ. vehicle to vehicle, V2V), инфраструктурой (англ. vehicle to infrastructure, V2I), сетями связи (англ. vehicle to network, V2N), электросетями (англ. vehicle to grid, V2G), пешеходами (англ. vehicle to pedestrian, V2P) и даже «умными» домами (англ. vehicle to house, V2H).

Сценарий mMTC предполагает автоматизацию процессов межмашинного взаимодействия. Рынок устройств mMTC включает счетчики потребления ресурсов, контроллеры освещения, весь спектр датчиков и других IoT-устройств. Для подобных приложений приоритетна автономность, а сеть должна работать с огромным числом подключений.

### **3. Технические требования к базовым и абонентским станциям сетей мобильной связи 5G**

Спецификации, разрабатываемые консорциумом 3GPP, являются базовыми документами для всех компаний-разработчиков оборудования совместимого с технологией 5G. Анализ представленных в них сведений об архитектуре, технических параметрах БС и АО сетей 5G позволяет сформулировать требования к перспективной ЭКБ. Ключевыми компонентами разрабатываемого оборудования являются приемопередающие модули различных частотных диапазонов и их компоненты, сигнальные процессоры, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи (ЦАП и АЦП), антенны, в том числе адаптивные антенные решетки.

Архитектура сетей 5G (NG-RAN) приведена в спецификации TS 38.300 [9] (рис. 2). В основе NG-RAN лежат два типа БС: gNB пятого поколения и ng-eNB поколения 4GPro. Базовые станции NG-RAN соединены между собой при помощи Xn интерфейса. Взаимодействие с базовой сетью (англ. 5G core, 5GC) осуществляется при помощи NG-интерфейса.

Базовые станции gNB могут использовать 38 поддиапазонов в диапазоне частот от 0,41 до 7,125 ГГц (FR1) и 4 поддиапазона от 24,25 до 52,6 ГГц (FR2). Спецификации 3GPP определяют четыре типа БС: 1-С, 1-Н, 1-О, 2-О. Разделение произведено на основании диапазонов рабочих частот, конструктивных особенностей (компоновки функциональных блоков БС и антенн), зон обслуживания.

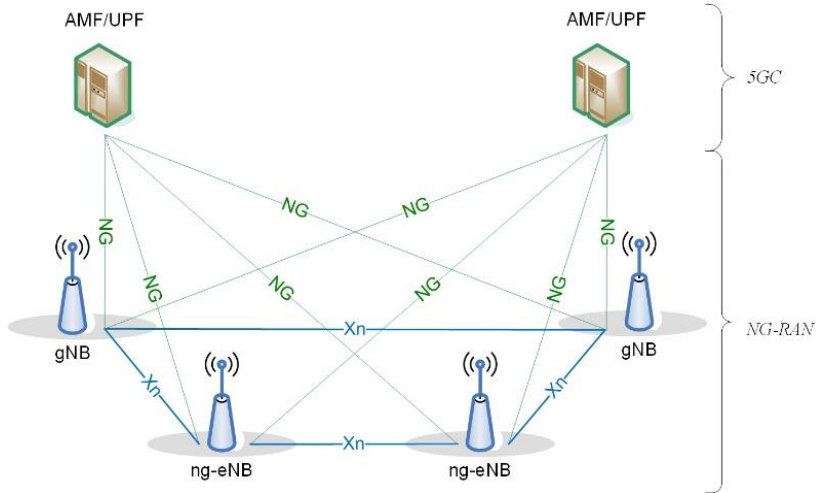


Рис. 2. Архитектура NG-RAN.  
Fig. 2. NG-RAN architecture

Требования к характеристикам БС 5G представлены в спецификациях TS 38.104 [10] и TS 38.817-02 [11]. Анализ данных характеристик позволяет определить требования к характеристикам их функциональных блоков. Значение выходной мощности передатчиков различных типов БС (табл. 1) непосредственно связаны с характеристиками усилительных каскадов и антенн БС.

Таблица 1. Мощностные характеристики БС 5G  
Table 1. Power characteristics of the 5G base stations

Зона обслуживания	Мощность передатчиков базовых станций gNB сетей радиодоступа 5G, дБм		Уровни ограничения ACLR БС, дБм/МГц
	БС типа 1-С	БС типа 1-Н	
Широкая	Без ограничений сверху	Без ограничений сверху	-15
Средняя	<38	$\leq 38 + 10\log(N_{TXU, counted})$	-25
Локальная	<24	$\leq 24 + 10\log(N_{TXU, counted})$	-32

Коэффициент ACLR показывает утечку мощности соседнего канала и представляет собой отношение отфильтрованной средней мощности на заданной частоте канала к отфильтрованной мощности на частоте соседнего канала.  $N_{TXU, counted}$  — число активных передатчиков системе.

Минимальный динамический диапазон регулировки мощности БС 1-С и 1-Н на линии вниз для каждой несущей должен быть больше или равен уровню, указанному в табл. 2.



Таблица 2. Динамический диапазон регулировки мощности БС  
Table 2. 1-C, 1-N base station total power dynamic range

Ширина канала, МГц	Динамический диапазон мощности, дБ		
	15 кГц поднесущая	30 кГц поднесущая	60 кГц поднесущая
5	13,9	10,4	—
10	17,1	13,8	10,4
15	18,9	15,7	12,5
20	20,2	17	13,8
25	21,2	18,1	14,9
30	22	18,9	15,7
40	23,3	20,2	17
50	24,3	21,2	18,1
60	—	22	18,9
70	—	22,7	19,6
80	—	23,3	20,2
90	—	23,8	20,8
100	—	24,3	21,3

Требования к мощности при выключенном передатчике применимы только к работе БС в дуплексном режиме с временным разделением. Для БС типа 1-C и 1-N требования к спектральной плотности мощности в выключенном состоянии передатчика должны быть менее  $-85$  дБм/МГц на антенный разъем.

Общие требования к характеристикам абонентских станций определены в спецификациях TS 38.101-1, 2, 3, 4, TS 38.817-01, [12—16].

Так, например, в спецификации TS 38.817-01 приведены значения выходной мощности передатчиков АО 5G класса 2 и 3, работающих в наиболее перспективных частотных поддиапазонах до 6 ГГц (табл. 3).

Таблица 3. Мощностные характеристики АО 5G диапазона до 6 ГГц  
Table 3. Power characteristics of the 5G sub-6 GHz user equipment

Частотный диапазон, ГГц	Выходная мощность, дБм		Примечание
	Класс 2	Класс 3	
3,3—3,8	26 +2/-3	23 +2/-3	n78
4,4—5			n79

Минимальная выходная мощность АО, работающего с шириной канала до 100 МГц составляет  $-33$  дБм.

Частотные каналы БС и АО состоят из определенного числа радиоблоков, формируемых из поднесущих с шириной 15 кГц, 30 кГц и 60 кГц для FR1 и 60 кГц и 120 кГц для FR2.

Конфигурация радиоблоков при формировании частотных каналов БС и АО для различных разносов поднесущих представлена в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Максимальная конфигурация радиоблоков NRB при формировании частотных каналов БС и АО поддиапазона FR1

Table 4. Maximum configuration of the NRB radio blocks when forming frequency channels of the FR1-band base stations and user equipment

Разнос под- несущих, кГц	Ширина полосы частотного канала 5G для поддиапазона FR1, МГц									
	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
	Конфигурация радиоблоков для полосы канала передачи									
15	52	79	106	133	160	216	270	—	—	—
30	24	38	51	65	78	106	133	162	217	273
60	11	18	24	31	38	51	65	79	107	135

Таблица 5. Максимальная конфигурация радиоблоков NRB при формировании частотных каналов БС и АО поддиапазона FR2

Table 5. Maximum configuration of the NRB radio blocks when forming frequency channels of the FR2-band base stations and user equipment

Разнос между поднесущими в ре- сурсном радиоблоке, кГц	Ширина полосы частотного канала 5G для поддиапазона FR2, МГц			
	50	100	200	400
	Конфигурация радиоблоков для полосы канала передачи			
60	66	132	264	—
120	32	66	132	264

Анализ табл. 3 и 4 показывает, что в диапазоне рабочих частот до 6 ГГц полосы частот близки к ширине агрегированных полос частот стандарта 4G/LTE. При этом в диапазоне mmWave используются полосы с шириной 200 МГц и 400 МГц. Для построения сигнала 5G могут быть использованы 264 радиоблока для FR2 и 273 радиоблока для FR1.

Для задания требований к АЦП и ЦАП сигнальных процессоров БС и АО возможно использовать следующий подход.

Так следует учитывать общее количество временных отсчетов в полезном OFDM-символе (не более 131072) и количество дискретных временных отсчетов расширенного циклического префикса (32768).

Таким образом, сигнал максимальной длительности будет содержать 163840 дискретных временных отсчетов, а разрядность АЦП должна быть не менее 18 бит.

Базисный временной интервал сети NG-RAN (0,5086 нс) определяет частоту дискретизации ЦАП или АЦП (2 ГГц).

#### 4. Краткий анализ современного состояния и перспектив развития технологий и ЭКБ телекоммуникационных сетей 5G

В табл. 6 представлены компании-лидеры в области стандартизации 5G и патентования изобретений в данной отрасли на конец 2020 г. [17]. Наибольшее число патентных заявок принадлежит компаниям Huawei Technologies и Samsung Electronics. Их высокая активность в области патентования позволяет обеспечить своим патентам статус базовых, входящих в стандарты для технологии 5G [18].

Таблица 6 Компании-лидеры по патентованию и количеству вкладов в стандарт 5G  
Table 6. Leading companies in patenting and contribution to the 5G standard

Компания	Кол-во заявок на патенты в области технологии 5G	Кол-во зарегистрированных патентов (на конец 2020 г.)	Кол-во одобренных предложений в спецификации 5G (на начало 2020 г.)
Huawei Technologies	6372	2993	5855
Qualcomm	4590	2323	1994
Samsung Electronics	4052	2628	1239
Nokia	2690	1963	3804
LG Electronics	2666	1663	685
ZTE Corporation	2665	555	1188
Ericsson	1838	948	5114
Sharp	1539	967	—
Intel Corporation	998	200	962

Разработки мировых производителей телекоммуникационного оборудования часто имеют характер частных решений на пути к коммерческой реализации сетей 5G. Это объясняется тем, что стандарт непрерывно развивается, а разработанные технические спецификации не являются исчерпывающими в части окончательного облика оборудования [19].

Правительственной комиссией по цифровому развитию России утверждена дорожная карта развития мобильных сетей связи 5G [20]. Ответственными исполнителями дорожной карты являются: ГК Ростех — в части создания оборудования связи 5G, ПАО «Ростелеком» — в части построения сетей связи 5G и развития сервисов на их основе.

Осенью 2020 г. ГК Ростех представила макет БС 5G, разработанный отечественными специалистами при участии НПК «Криптонит» [21]. В состав макета входит радиопередающий модуль, модуль цифровой обработки сигналов (ЦОС) и ядро мобильной сети. БС работает в режиме Stand Alone.

Основой отечественных систем 5G может стать оборудование и ЭКБ, перечисленные в Едином реестре российской радиоэлектронной продукции [22]. В число поставщиков входят российские компании: ЭЛТЕКС, концерн «Созвездие», ОАО «Глобалинформсервис», НПФ «Микран», АО «Ангстрем», ПАО «Микрон», АО «МЦСТ», АО «ПКК Миландр», АО «Байкал электроникс» [23].

Опытом разработки модулей связи предыдущих поколений (2G и 3G) обладает АО НИИМА «Прогресс» [24]. Помимо этого, в списке разработок представлены аналоговые микросхемы приемопередающего тракта K5200MX014, K1917BC014, предназначенные для применения в аппаратуре БС и АО локальной системы навигации. Отдельно K5200MX014 может применяться как основа аналогового тракта в аппаратуре для приема и передачи сигналов в диапазоне частот 0,1—2,5 ГГц и шириной спектра полезного сигнала 50 кГц или 1,25—2,5 МГц. Однако узкая полоса и входящие в состав 8-битные АЦП ограничивают применение данной ИМС в системах связи будущих поколений.

Российским АО «ПКК Миландр» разработана линейка микросхем ЦАП и АЦП разрядностью до 20 бит, высокопроизводительные процессоры ЦОС, ряд радиочастотных микросхем: узкополосный приемник, формирователь модулирующего сигнала, синтезаторы частоты, в том числе с дробным коэффициентом деления и встроенным генератором, управляемым напряжением [25].

В списке разработок АО НПЦ «Элвис» представлена микросхема цифровой части четырехканального SDR-приемника 1288XK1T с частотой дискретизацией входного сигнала до 100 Мвыб/с на каждый канал и возможностью синхронизации до восьми микросхем для построения программно-перенастраиваемых фазированных и адаптивных антенных решеток [26]. В состав микросхемы не входят АЦП, что с одной стороны делает данный приемник более универсальным, а с другой стороны — снижает интеграцию и усложняет его применение.

ЗАО НТЦ «Модуль» осуществляет разработку и выпуск процессоров ЦОС [27]. В 2013 г. был выпущен цифровой программный приемник 1879ВЯ1Я с двумя 64-разрядными цифровыми сигнальными процессорами, 32-битным процессором ARM1176JZF-S и системой перестраиваемых

комплексных фильтров. В состав микросхемы входят четыре 12-битных АЦП с частотой дискретизации 82 МГц.

Технологической основой отечественных разработок в области ЭКБ систем связи 5G могут стать мощности ПАО «Микрон» (90 нм, 180 нм КМОП, 180 нм и 250 нм КНИ технологические процессы), АО «Ангстрем» (0,6 мкм КМОП, БиКМОП, КНИ техпроцессы), АО «НИИЭТ» (GaN силовые транзисторы).

Анализ уровня имеющихся разработок показывает, что на данный момент в числе отечественной серийно-выпускаемой ЭКБ присутствуют только отдельные функциональные блоки оборудования систем связи с рабочими частотами до 6 ГГц и отсутствуют микросхемы, способные в едином корпусе обеспечить прием, обработку и передачу сигнала с рабочими частотами mmWave диапазона 5G.

## 5. Заключение

Аналитический обзор современного состояния и перспектив развития телекоммуникационных сетей 5G показал высокую степень разработки стандартов и спецификаций, определяющих основные характеристики оборудования и сценарии его применения.

На основе технических спецификаций консорциума 3GPP могут быть сформированы требования, обоснованы количественные значения основных технических характеристик ЭКБ для производства оборудования телекоммуникационных сетей 5G на базе отечественных предприятий радиоэлектронной промышленности.

Анализ патентной активности в области технологий 5G показывает, что ведущие мировые разработчики и поставщики телекоммуникационного оборудования уделяют большое внимание созданию интеллектуальной собственности и стандартизации в области новых технологий связи. А их конкурентоспособность на мировом рынке напрямую связана с количеством инвестиций в исследования и разработки новых технологий. Компаниям, не имеющим собственных исследовательских центров, сложно конкурировать из-за необходимости лицензирования множества запатентованных технологий.

Одной из проблем радиоэлектронной промышленности России в части разработки отечественного оборудования сетей 5G является отсутствие на рынке современной ЭКБ приемопередающих модулей, сигнальных процессоров, быстросрабатывающих ЦАП и АЦП.

## Источники финансирования и выражение признательности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-37-90128\19.

### Список литературы

- 1 FG IMT-2020: Report on Standards Gap Analysis – ITU 2016 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.itu.int/md/T13-SG13-151130-TD-PLN-0208/en> (дата обращения: 01.03.2021).
- 2 Focus Group on IMT-2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/imt-2020/Pages/default.aspx> (дата обращения: 01.03.2021).
- 3 3GPP Release 16 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.3gpp.org/release-16> (дата обращения: 01.03.2021).
- 4 Тихвинский В. О. Технологии 5G — базис мобильной инфраструктуры цифровой экономики // Электросвязь. 2018. № 3. С. 48—55.
- 5 A look at key innovation areas of 3GPP Rel-17 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ericsson.com/en/blog/2019/12/3gpp-rel-17> (дата обращения: 01.03.2021).
- 6 Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения: 01.03.2021).
- 7 3GPP TR 38.913 Study on scenarios and requirements for next generation access technologies [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2996> (дата обращения: 01.03.2021).
- 8 3GPP TS 38.211 NR; Physical channels and modulation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3213> (дата обращения: 01.03.2021).
- 9 3GPP TS 38.300 NR; NR and NG-RAN Overall description; Stage-2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3191> (дата обращения: 01.03.2021).
- 10 3GPP TS 38.104 NR; Base Station (BS) radio transmission and reception [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3202> (дата обращения: 01.03.2021).
- 11 3GPP TS 38.817-02 General aspects for Base Station (BS) Radio Frequency (RF) for NR [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3360> (дата обращения: 01.03.2021).
- 12 3GPP TS 38.101-1: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3283> (дата обращения: 01.03.2021).
- 13 3GPP TS 38.101-2: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3284> (дата обращения: 01.03.2021).
- 14 3GPP TS 38.101-3: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 3: Range 1 and Range 2 Interworking operation with other radios [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3285> (дата обращения: 01.03.2021).
- 15 3GPP TS 38.101-4: NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 4: Performance requirements [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/>

- desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3366 (дата обращения: 01.03.2021).
- 16 3GPP TR 38.817-01: NG Radio Access Network (NG-RAN); Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in NG-RAN [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3359> (дата обращения: 01.03.2021).
  - 17 Landscape analysis of 5G patent families [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.managingip.com/article/b1plrrv4knsngnm/landscape-analysis-of-5g-patent-families> (дата обращения: 01.03.2021).
  - 18 Who is leading the 5G patent race? A patent landscape analysis on declared 5G patents and 5G standards contributions [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.iplytics.com/wp-content/uploads/2019/01/Who-Leads-the-5G-Patent-Race\\_2019.pdf](https://www.iplytics.com/wp-content/uploads/2019/01/Who-Leads-the-5G-Patent-Race_2019.pdf) (дата обращения: 01.03.2021).
  - 19 Батуев Б. Технологии 5G : поэтапное внедрение и элементная база для абонентского оборудования // Беспроводные технологии. 2019. № 4. С. 15—27.
  - 20 Правительство РФ утвердило дорожную карту развития 5G. Ростех [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rostec.ru/news/pravitelstvo-rf-utverdilo-dorozhnyuyu-kartu-razvitiya-5g/> (дата обращения: 01.03.2021).
  - 21 Ростех представил макет российской базовой станции 5G на ЦИПР-2020. Ростех [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rostec.ru/media/pressrelease/rostekh-predstavil-maket-rossiyskoy-bazovoy-stantsii-5g-na-tsipr-2020/> (дата обращения: 01.03.2021).
  - 22 Единый реестр российской радиоэлектронной продукции (в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 10 июля 2019 г. № 878). Минпромторг России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gisp.gov.ru/documents/10546664/> (дата обращения: 01.03.2021).
  - 23 Пономарев О. П., Мойсейченков А. Н., Бахтин А. А., Омельянчук Е. В., Семенова А. Ю., Михайлов В. Ю. Базовые станции 5G : возможности реализации в России // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2019. Т. 2, № 3. С. 334—348.
  - 24 АО «НИИМА “Прогресс”». Продукция. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mri-progress.ru/products/> (Дата обращения: 01.03.2021).
  - 25 Микросхемы Продукция АО «ПКК “Миландр”» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ic.milandr.ru/products/> (дата обращения: 01.03.2021).
  - 26 Четырехканальный цифровой SDR-приемник 1288ХК1Т АО НПЦ «Элвис» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://multicore.ru/index.php?id=50> (дата обращения: 01.03.2021).
  - 27 СБИС К1879ВЯ1Я ЗАО НТЦ «Модуль» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.module.ru/products/1/23-18791> (дата обращения: 01.03.2021).

### Информация об авторе

**Филиппов Иван Фёдорович**, аспирант кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация. ORCID 0000-0001-7897-6415.

### Information about the author

**Ivan F. Filippov**, graduate student, Radioelectronics and Telecommunications Department, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation. ORCID 0000-0001-7897-6415.