

## Базовые станции 5G: возможности реализации в России<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Пономарев О. П., <sup>1</sup> Мойсейченков А. Н., <sup>2</sup> Бахтин А. А.,

<sup>2</sup> Омелянчук Е. В., <sup>2</sup> Семенова А. Ю., <sup>2</sup> Михайлов В. Ю.

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002, Российская Федерация

ropomarev7713@mail.ru, a.n.moiseichenkov@urfu.ru

<sup>2</sup> Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники» (МИЭТ)

г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, г. Москва, 124498, Российская Федерация

bah@mtee.ru, omelia4231@gmail.com, semenova.anastasia.y@gmail.com,

mikhvikt@gmail.com

Получено: 14 июля 2019 г.

Отрецензировано: 13 сентября 2019 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2019 г.

**Аннотация:** Представлен краткий обзор состояния развития мобильной связи 5G в мире и в России на 2019 год. Рассмотрены пилотные проекты 5G в России и их особенности. Приведены основные требования к сетям пятого поколения мобильной связи, задачи, стоящие перед разработчиками, примеры аппаратных средств и краткие технические характеристики аппаратных средств российского производства, которые могут быть применены при создании оборудования базовых станций для сетей 5G. Описаны работы НИУ МИЭТ по разработке программно-алгоритмического обеспечения приемопередающей аппаратуры по требованиям пятого поколения мобильной связи. Дана оценка возможностей реализации в России базовых станций мобильной связи стандарта 5G, в том числе на базе аппаратных средств российских производителей. Сделаны выводы о перспективах внедрения сетей пятого поколения с использованием отечественной элементной базы и даны соответствующие рекомендации.

**Ключевые слова:** 5G, базовые станции, приемопередающая аппаратура, элементная база, импортозамещение.

---

<sup>1</sup> Статья является расширенной версией доклада, представленного на 29-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2019 (Севастополь, РФ, 8—14 сентября 2019 г.).

*Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):* Пономарев О. П., Мойсейченков А. Н., Бахтин А. А., Омелянчук 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.

*Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011):* Пономарев, О. П. Базовые станции 5G: возможности реализации в России / О. П. Пономарев, А. Н. Мойсейченков., А. А. Бахтин, Е. В. Омелянчук, А. Ю. Семенова, В. Ю. Михайлов // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2019. — Т. 2, № 3. — С. 334—348.

## 5G base station prototyping: implementation possibilities in Russia

O. P. Ponomarev<sup>1</sup>, A. N. Moiseichenkov<sup>2</sup>, A. A. Bakhtin<sup>2</sup>,  
E. V. Omelyanchuk<sup>2</sup>, A. Y. Semenova<sup>2</sup>, and V. Y. Mikhailov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (UrFU)  
19 Mira Street, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation  
ponomarev7713@mail.ru, a.n.moiseichenkov@urfu.ru

<sup>2</sup> National Research University of Electronic Technology (MIET)  
Zelenograd, Shokin Square, bld. 1, Moscow, 124498, Russian Federation  
bah@miee.ru, omelia4231@gmail.com, semenova.anastasia.y@gmail.com,  
mikhvikt@gmail.com

Received: July 14, 2019

Peer-reviewed: September 13, 2019

Accepted: September 16, 2019

**Abstract:** A brief overview of the development of UMT-2020 (5G) mobile communications in the world and in Russia is presented for 2019. 5G pilot projects in Russia are considered as well as their features. The basic requirements for 5G networks, the tasks facing developers, examples of hardware and brief technical specifications of hardware produced in Russia that can be used to create base station equipment for 5G networks are given. The work of MIET on the development of software and algorithmic support for 5G transceiver equipment is described. An estimation is given concerning the feasibility of implementing 5G generation mobile communication base stations in Russia, including on the basis of hardware from Russian manufacturers. Conclusions are drawn on the prospects for the implementation of fifth-generation networks using Russian hardware and some recommendations are offered.

**Keywords:** 5G, base stations, transceiver equipment, element base, import substitution.

**For citation (IEEE):** O. P. Ponomarev, A. N. Moiseichenkov, A. A. Bakhtin, E. V. Omelyanchuk, A. Y. Semenova, and V. Y. Mikhailov, “5G Base Station Prototyping: Implementation Possibilities in Russia,” *Infocommunications and Radio Technologies*, 2019, vol. 2, no. 3, pp. 334—348. (In Russ.).

## 1. Введение

В настоящий момент операторами мобильной связи активно проводятся работы по тестированию и внедрению в эксплуатацию оборудования мобильной связи пятого поколения 5G (стандарт IMT-2020). Концепция создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации вошла в состав национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». В соответствии с паспортом программы [1] в России должны быть определены диапазоны радиочастот для создания сетей радиосвязи 5G и разработан проект дорожной карты высвобождения радиочастот в интересах внедрения технологии 5G/IMT-2020 до 30.09.2019 г. Концепция построения узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации утверждена 29.03.2019 г. [2]. Реализация пилотных проектов в пяти отраслях экономики запланирована до 31.12.2020 г. Оператором дорожных карт по развитию технологий беспроводной связи 5G, промышленного интернета вещей IoT на период до 2024 г. определен Национальный центр информатизации Госкорпорации Ростех [3].

## 2. Краткий обзор состояния развития мобильной связи 5G

### 2.1. 5G в мире

Из открытых источников [4] известно о проектах зарубежных компаний, связанных с технологиями IMT-2020. Так, в 2019 г. компания T-Mobile Poland запустила сеть 5G в центре Варшавы. Компания Telia дополнила запуск фрагмента сети 5G в Швеции запуском фрагмента сети 5G в г. Таллинн. Компания Telenor Norway развернет новый пилотный проект на базе решения Ericsson, Huawei и Turkcell представили проект 5G-ориентированной базовой сети для облачных сред, Vodafone анонсирует запуск тестов 5G в Манчестере, Verizon запускает 5G в Чикаго и Миннеаполисе, ZTE Corporation и Qualcomm Technologies, Inc. совместно продемонстрировали сетевые сервисы 5G на базе комплексной коммерческой системы суб-6 ГГц. В Южной Корее установили 12 тыс. базовых станций 5G. К середине 2019 г. LG Uplus планирует установить еще 50 тыс. базовых станций (БС). Шанхай стал регионом, где есть одновременно покрытие 5G и гигабитная сеть широкополосной передачи данных. Компании NTT DoCoMo, KDDI, Softbank, Rakuten получили лицензии 5G в Японии, Swisscom и Ericsson 17.04.2019 г. запустили первую в Европе сеть 5G с поддержкой мобильности.

И это только часть из общего объема данных о внедрении 5G в мире. Как видно, в некоторых странах уже имеют значительные зоны покрытия

сети 5G, и все крупные операторы устанавливают БС нового поколения. Аналогичные тенденции наблюдаются и в России.

### 2.1. 5G в России

В открытых источниках сети Интернет опубликована информация о пилотных проектах, реализуемых в России. ПАО «Ростелеком» завершила тестирование сети 5G в Иннополисе, которое проводила с осени 2018 г. на оборудовании Huawei. Тесты показали пропускную способность до 2,1 Гбит/с на сектор и задержки порядка 1—3 мс [5]. ПАО «Ростелеком» также проводила испытания в Сколково на базе оборудования Nokia, в Эрмитаже г. Санкт-Петербург на базе технологий Ericsson. Операторы мобильной связи проводили тестовые испытания 5G во время чемпионата мира по футболу 2018 г. на базе зарубежного оборудования, в Казани — ПАО «МегаФон» с применением оборудования Nokia, Tele2 и МТС — с применением оборудования Ericsson. Базовые станции Ericsson AIR 6468 были установлены в Москве, Санкт-Петербурге, Казани, Ростове-на-Дону и др.

На заседании ГКРЧ [6] были рассмотрены и приняты решения о результатах исследований по использованию полосы радиочастот 3400—3800 МГц ПАО «МегаФон» и ПАО «Ростелеком». Определено, что электромагнитная совместимость РЭС сетей связи 5G с РЭС действующих радиослужб не обеспечивается, требуется проведение работ по оценке реализуемости и стоимости конверсии и перераспределения радиочастотного спектра. Минкомсвязи России будет подготовлен проект Плана конверсии радиочастотного спектра в интересах внедрения технологии 5G и определения возможности и условий использования соответствующих диапазонов частот.

Для Всемирной зимней универсиады 2019 г. в г. Красноярске Решением ГКРЧ разрешено использовать полосы радиочастот в диапазоне 5150-5725 МГц.

Решением ГКРЧ от 24.12.2018 г. для создания пилотных зон выделены полосы радиочастот 4800—4990 МГц и 27,1—27,5 ГГц на ряде территорий, в том числе в Дербенте, Екатеринбурге, Казани, Калининграде, Кемерове, Краснодаре, Москве, территории завода «Микрон» в г. Зеленоград и участке трассы М-11 в Московской области, Сколково, Мурманске, Санкт-Петербурге, Сочи, Томске, Ульяновске, Республике Татарстан. Заявку на тестирование технологии пятого поколения может подать любая заинтересованная организация. Результаты рассмотрения заявок планируется представить в ГКРЧ не позднее 01.06.2019 г. В 2020 г. в пяти районах Татарстана планируют запустить зону сети 5G.

Таким образом, развитие мобильных сетей в России имеет те же темпы, что и у ведущих стран, однако внедрение 5G происходит на базе оборудования зарубежных вендоров.

Центр компетенций НТИ «Технологии беспроводной связи и интернета вещей» в тестовой зоне отечественного оборудования 5G в Инновационном центре «Сколково» проводит совместные испытания с ПАО «Ростелеком» и ПАО «МегаФон» [7]. Главная задача тестовой зоны — стать независимой площадкой для непрерывной отладки и тестирования комплексных решений для сетей 5G на базе оборудования отечественных производителей. В испытаниях может принять любая компания, готовая предоставить телекоммуникационное оборудование российского производства или соответствующее программное обеспечение. Тестироваться могут решения для сетей 5G внутри и вне помещений, для дальней и средней по дальности связи, для большого и малого числа абонентских устройств. Диапазон используемых частот для тестирования от 4800 до 4990 МГц. Выходная суммарная мощность передатчиков не должна превышать 52 дБм. При этом используются ресурсы операторов «Ростелеком» и «Акадо». В число вендоров оборудования входят российские компании: ЭЛТЕКС, концерн «Созвездие», Радио-Гигабит, РТК-СТ, НПФ «Микран». Дорожная карта развития тестовой зоны 5G рассчитана до 2024 года. Результатом должно стать решение, использующее радиооборудование и ядро сети 5G российского производства.

### 3. Требования к 5G

К сетям 5G предъявляются следующие основные требования [8]:

- пиковая скорость 20 Гбит/с,
- скорость на одного пользователя 100 Мбит/с,
- спектральная эффективность 30 бит/с/Гц,
- задержки порядка 1 мс.

Помимо этого, в сетях IMT-2020 требуется сетевое покрытие в сложных ситуациях: при высокой мобильности абонентов, в районах с высокой плотностью населения, многолучевости из-за развитой инфраструктуры. Развитие Интернета вещей приводит к требованиям к увеличению плотности подключенных устройств до 1 млн терминалов на 1 км<sup>2</sup>. Современные сети связи должны обеспечивать высокую надежность, глобальное покрытие, малую задержку при заметно увеличивающемся объеме передаваемых данных. Помимо этого, новые устройства должны обладать меньшим энергопотреблением, а сети развертываться за более короткое время.

Все эти требования соответствуют задачам разработчиков. В качестве основных таких задач можно выделить повышение спектральной эффективности до 30 бит/с/Гц, уменьшение задержки пользовательского уровня до 1 мс и построение высокоэффективных фазированных антенных решеток (ФАР) с совмещением частотных диапазонов и динамическим управлением их характеристиками направленности. Следует понимать, что для достижения спектральной эффективности 30 бит/с/Гц и пиковой пропускной способности БС в канале «вниз», равной 20 Гбит/с, необходима полоса не менее 667 МГц (линия «вниз») и 333 МГц (линия «вверх»). Тогда общая полоса частот должна составлять не менее 1 ГГц. По этой причине предпочтение часто отдается диапазону выше 6 ГГц.

#### 4. Возможности отечественных предприятий в области 5G

Как известно из открытых источников, отечественные предприятия выпускают продукцию, которая может быть применена для производства оборудования БС и развертывания сетей 5G. Рассмотрим на примере нескольких предприятий, в том числе АО НПЦ «ЭЛВИС», АО «ПКК Миландр», АО «ВЗПП-С», АО «НПФ «Микран», МЦСТ и ИНЭУМ.

Акционерное общество Научно-производственный центр «Электронные вычислительно-информационные системы» (АО НПЦ «ЭЛВИС») [9] разрабатывает серию SDR-приемопередатчиков — перепрограммируемых аналогово-цифровых микросхем типа «система на кристалле», предназначенных для использования в телекоммуникационной аппаратуре и ФАР. Микросхема 1288ХК1Т — четырехканальный цифровой SDR-приемник Digital Down Converter (DDC) предназначен для построения приемных трактов систем радиосвязи и радиолокации.

Технические характеристики микросхемы следующие:

- четыре канала цифрового приемника с возможностью объединения каналов для построения широкополосного тракта,
- скорость отсчетов входного сигнала: свыше 100 Мвыб/с на каждый канал,
- тип входного сигнала: действительный 16-битный цифровой сигнал, комплексный 16-битный цифровой сигнал, комплексный 8-битный цифровой сигнал,
- наличие функции преобразования частоты действительного и комплексного сигнала,
- SFDR гетеродина: не хуже 100 дБ,
- точность настройки гетеродина: 0,025 Гц при частоте входных отсчетов 100 МГц,

- точность установки фазы гетеродина:  $0,005^\circ$ ,
- двухкаскадный фильтр-дециматор с фиксированными коэффициентами в каждом канале (первый каскад: СИС-фильтр степени 2, второй каскад: СИС-фильтр степени 4, 5 или 6),
- общий коэффициент децимации: 1—16384,
- два программируемых фильтра-дециматора 64-го порядка с конечной импульсной характеристикой в каждом канале.

Производительность микросхемы достаточна для обработки четырех каналов узкополосной связи или одного канала широкополосной связи. На базе микросхемы 1288ХК1Т можно реализовать программно-перенастраиваемые фазированные и адаптивные антенные решетки, включая технологии «Smart Antenna» и ММО.

АО НПЦ «ЭЛВИС» производит процессоры серии «Мультикор» — однокристалльные программируемые многопроцессорные «системы на кристалле» на базе библиотеки IP-ядер платформы «МУЛЬТИКОР» сочетающие в себе качества микроконтроллеров и цифровых процессоров обработки сигналов.

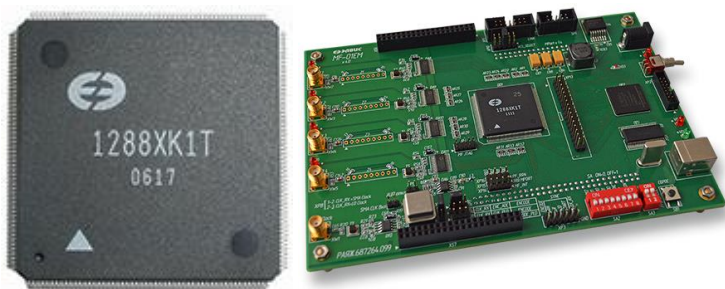


Рис. 1. Микросхема 1288ХК1Т и отладочная плата на базе микросхемы 1288ХК1Т (по материалам [9]).

Fig. 1. 1288XK1T IC and evaluation board [9]

АО «ПКК Миландр» производит: микроконтроллеры и процессоры, программно-отладочные средства, микросхемы памяти, интерфейсные микросхемы, радиочастотные микросхемы, микросхемы управления питанием, микросхемы преобразователей, микросхемы в пластиковых корпусах, радиационно стойкие микросхемы.

АО «ПКК Миландр» [10] разрабатывает синтезатор частот с дробным коэффициентом деления и встроенным ГУН и основной частотой до 6 ГГц на дифференциальных СВЧ выходах. АО «ПКК Миландр» выпускает микросхемы синтезатора частот с дробным коэффициентом деления

1508AC015, K1508AC015, K1508AC015K, 1508AC01H4, K1508AC01H4 с основной частотой до 12 ГГц. Микросхемы предназначены для построения блоков генераторов сигнала на основе фазовой автоподстройки частоты, которые могут быть применены в базовых станциях для мобильного радио, беспроводных локальных сетях, в космической радиолокации.



Рис. 2. Микросхема 1508AC015 и демонстрационная плата (по материалам [10]).

Fig. 2. 1508AC015 IC and evaluation board [10]

Акционерное общество «Воронежский завод полупроводниковых приборов — Сборка» (АО «ВЗПП-С») [11] производит программируемые логические интегральные схемы, которые функционально совместимы с изделиями фирмы Altera. Например, ПЛИС 5578ТС094 ТУ — АЕНВ.431260.423ТУ предназначена для замены зарубежных микросхем EP3C25 Altera. Основные функциональные параметры таких схем следующие [12]:

- Емкость по числу системных вентилях — 1 200 000 шт.,
- Количество эквивалентных логических элементов — 24 624 шт.,
- Объем встроенной памяти — 594 Кбит,
- Количество умножителей  $18 \times 18$  — 66 шт.,
- Количество выводов, программируемых пользователем — 195 шт.

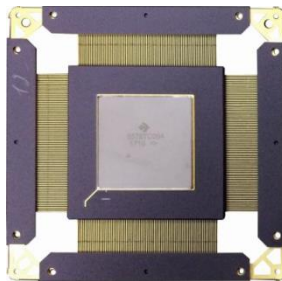


Рис. 3. ПЛИС 5578ТС094 ТУ — АЕНВ.431260.423ТУ (по материалам [12]).

Fig. 3. 5578TC094 FPGA [12]



АО «НПФ «Микран» производит аппаратуру беспроводного широкополосного доступа на основе рекомендации IEEE 802.16-2004 WirelessMAN (WiMAX) в диапазоне частот 5,650—6,425 ГГц, имеющую следующие характеристики [13]:

- эффективное использование спектра (до 37 Мбит/с в полосе 10 МГц),
- отсутствие коллизий в эфире,
- устойчивая работа в условиях многолучевого приема,
- гарантированное качество обслуживания на уровне сервисных потоков,
- мультисервисность (голос, видео, данные),
- организация сетей с топологией «точка — много точек» и «точка — точка».

Также АО «НПФ «Микран» производит аппаратуру цифровых радиорелейных станций (ЦРРС) диапазонов 4—23 ГГц со скоростью передачи до 3,6 Гбит/с на интервал и антенных устройств для них в диапазоне 4—18 ГГц. Такая аппаратура при соответствующей адаптации может применяться в технологии Relay Node. Предприятие в настоящий момент также адаптирует технологию цифровых ФАР для использования в базовых станциях 5G [14].

Холдинг «Росэлектроника» 21 декабря 2017 г. приступил к выпуску транзисторов для сетей связи 5G. Речь идет о нитрид-галлиевых (GaN) транзисторов. Разработчик изделий — АО «НИИ электронной техники» (в составе холдинга входит в Концерн «Созвездие»). СВЧ/GaN-транзисторы в сетях связи позволят увеличить объемы передаваемого трафика за счет более широкого диапазона частот.

Выходная мощность таких приборов составляет от 5 до 50 Вт, коэффициент усиления по мощности — от 9 до 13 дБ, КПД стока — не менее 45 % на тестовых частотах 4 ГГц и 2,9 ГГц. Транзисторы полностью взаимозаменяемы с импортными аналогами, что позволяет не проводить дополнительных согласующих настроек в составе аппаратуры [15].

По результатам тестирования рабочей станции «Эльбрус 401-РС» на базе четырехъядерного процессора «Эльбрус 4С» для реализации безопасного режима вычислений в области релейной защиты автоматики электрических подстанций принято решение об изготовлении промышленного компьютера на базе процессора «Эльбрус 4С». По требованиям МЭК 61850 (IEC 61850) для устройств релейной защиты автоматики частота отправки сообщений трансформатором составляет 4 МГц [16]. Процессор «Эльбрус 4С» имеет тактовую частоту 800 МГц и поддерживает работу при скоростях передачи данных до 1000 Мбит/с.



Рис. 4. Рабочая станция «Эльбрус 401-PC» (по материалам [17]).

Fig. 4. «Elbrus 401-PC» workstation [17]

Компании МЦСТ и ИНЭУМ проводят ОКР по созданию микропроцессора «Эльбрус 16СВ», который планируется к выпуску в 2021 г. [18]. В табл. 1 представлено сравнение его параметров с параметрами процессоров фирмы Intel.

Таблица 1. Сравнение параметров микропроцессора «Эльбрус 16СВ» с параметрами микропроцессоров семейства Intel [18].

Table 1. Performance comparison between Elbrus and Intel processors [18]

Параметры	Intel Xeon E7-4850 v4	Intel Xeon Platinum 8153	«Эльбрус 16СВ»
Микроархитектура	Broadwell	Skylake	Эльбрус v6
Тактовая частота, ГГц	2,8	2,0 (2,8)	2,0
Пиковая производительность, Гфлопс	1075/538	1200/600 (1600/800)	1500/750
Число ядер	16	16 (28)	16
Объема кэша, МБ	40	38	Более 32
Пропускная способность памяти, ГБ/с	85	119	Более 100
Технологический процесс, нм	14	14	16
Потребляемая мощность, Вт	115	125	100
Отношение производительности к мощности, Гфлопс/Вт	4,7	4,8 (6,4)	7,5
Год выпуска	2017	2017	2021

ОАО «Байкал Электроникс» производит отечественную систему на кристалле на базе архитектуры MIPS Warrior P-class P5600, Baikal-T1 [19]. Устройство имеет следующие технические характеристики:

- 2 ядра P5600 MIPS 32 г5, рабочая частота 1,2 ГГц,
- Емкость кэша L2 — 1 Мбайт,
- Контроллер памяти DDR3-1600,
- Энергопотребление менее 5 Вт,
- Технологический процесс 28 нм,
- Интегрированные интерфейсы:
  - 1 порт 10 Gb Ethernet,
  - 2 порта 1 Gb Ethernet,
  - контроллер PCIe Gen.3,
  - 2 порта SATA 3.0,
  - порт USB 2.0.

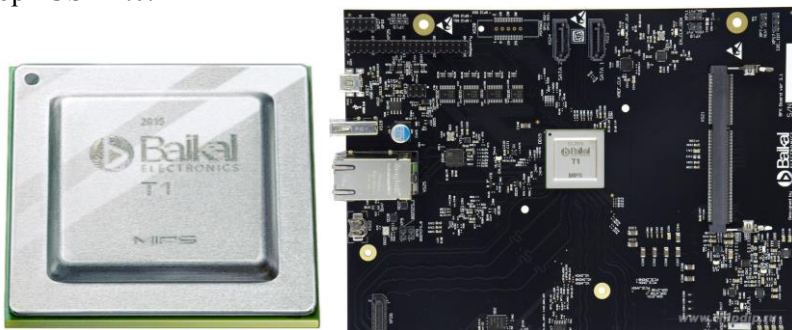


Рис. 5. Система на кристалле Baikal-T1 и компьютер на базе процессора Baikal-T1 (по материалам [19]).

Fig. 5. Baikal-T1 SoC and Baikal-T1 processor-based computer [19]

Кроме того, в настоящее время многие научные коллективы участвуют в разработке аппаратуры и технических решений для сетей 5G. В частности, в НИУ МИЭТ ведется работа по разработке приемопередающей аппаратуры для организации сетевого взаимодействия по требованиям пятого поколения мобильной связи. Разработка проводится на базе оборудования быстрого прототипирования и отладки компании National Instruments с использованием блоков USRP-2943R, работающих в диапазоне до 6 ГГц [20].

В ходе работы было разработано программно-алгоритмическое обеспечение экспериментального образца программно-аппаратного комплекса (ЭО ПАК) приемопередающей аппаратуры для организации сетевого взаимодействия по требованиям 5G в следующем составе:

- алгоритм определения местоположения радиосредств абонентов сети,
- алгоритм анализа эфира, определяющего занятость канала, уровень мощности шума, местоположение абонента и информации о состоянии канала,
- алгоритм реализации системы обработки сигнала множественного MIMO, включая программу определения условий распространения сигналов от разных лучей и компенсации интермодуляционных искажений,
- алгоритм реализации протоколов импульсной пакетной связи,
- алгоритм оценки и реализации предсказаний сигнала для компенсации пик-фактора,
- алгоритм реализации OFDM модулятора с универсальной фильтрацией (UF-OFDM) и циклическим префиксом (CP-OFDM),
- алгоритм управления средством связи в режиме программно-конфигурируемой сети (SDN).

Представленный обзор продукции отечественных предприятий позволяет делать выводы о возможности производства отечественного телекоммуникационного оборудования для сетей 5G в некоторой перспективе.

## 5. Заключение

Правительство РФ постановило сформировать до 1 января 2020 года единый реестр российской радиоэлектронной продукции, разработав перечень продукции, происходящей из иностранных государств, и порядок определения статуса телеком-оборудования отечественного производства. Соответствующее постановление кабмина от 10 июля 2019 года размещено на официальном интернет-портале правовой информации.

Согласно документу, в двухмесячный срок Минпромторгу поручено разработать порядок присвоения и подтверждения статуса телекоммуникационного оборудования российского происхождения и включения его в реестр, а также порядок проведения выездной проверки в целях экспертизы оборудования на территории заявителя. Кроме того, с 1 сентября 2019 года министерство обязано обеспечить формирование и ведение реестра в государственной информационной системе промышленности, до 1 января 2020 года утвердить требования по уровню локализации производства телекоммуникационного оборудования и методику определения российского происхождения такой продукции.

Работы по внедрению сети 5G в России проводятся многими научно-исследовательскими организациями и коллективами совместно с промыш-

ленными предприятиями. Базовые станции сети 5G могут быть созданы на основе существующих образцов телекоммуникационного оборудования российского производства на основе отечественных комплектующих с применением отечественного ПО. Для массового производства, адаптации в существующие сети мобильной связи и унификации телекоммуникационного оборудования российского производства с целью обеспечения коммерческой эксплуатации сетей 5G необходимо экстренно сформировать единые технические требования к программно-аппаратной платформе базовых станций, гармонизированные с документами ИМТ-2020.

### Список литературы

1. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» / Правительство Российской Федерации. URL: <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cNL06gczMkPF.pdf> (дата обращения: 23.04.2019).
2. Приказ об утверждении Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/113-graficheskij-variant.pdf> (дата обращения: 23.04.2019).
3. Ростех подготовит дорожные карты для нацпроекта «Цифровая экономика» / Ростех. URL: [www.rostec.ru/news/rostekh-podgotovit-dorozhnye-karty-dlya-natsproekta-tsfrovaya-ekonomika/](http://www.rostec.ru/news/rostekh-podgotovit-dorozhnye-karty-dlya-natsproekta-tsfrovaya-ekonomika/) (дата обращения: 23.04.2019).
4. LTE Union / Союз операторов мобильной связи LTE. URL: <http://www.lteunion.ru/press/news/> (дата обращения: 30.08.2019)
5. В Иннополисе завершилось тестирование сети 5G: подробности / Inkazan. URL: <https://inkazan.ru/news/society/03-04-2019/v-innopolise-zavershilos-testirovanie-seti-5g-podrobnosti> (дата обращения: 30.08.2019).
6. Заседание ГКРЧ от 15 апреля 2019 года (протокол №19-49) / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6454/#tdocumentcontent> (дата обращения: 30.08.2019).
7. Весь MIR узнал о тестовой зоне отечественного оборудования 5G в Сколково / Центр компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) по направлению «Технологии беспроводной связи и интернета вещей». URL: <https://iot.skoltech.ru/2019/02/21/ves-mir-uznal-o-testovoj-zone-otechestvennogo-oborudovaniya-5g-v-skolkovo/> (дата обращения: 30.08.2019).
8. 3GPP Specification Set : 5G / 3GPP. URL: <https://www.3gpp.org/dynareport/SpecList.htm?release=Rel-15&tech=4&ts=1&tr=0> (дата обращения: 30.08.2019).
9. АО НПЦ «ЭЛВИС». URL: [www.multicore.ru](http://www.multicore.ru) (дата обращения: 30.08.2019).
10. АО «ПКК Миландр». URL: [www.milandr.ru](http://www.milandr.ru) (дата обращения: 30.08.2019).
11. АО «ВЗПП-С». URL: [www.vzpp-s.ru](http://www.vzpp-s.ru) (дата обращения: 30.08.2019).
12. АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов — Сборка» / АО «ВЗПП-С». URL: [www.vzpp-s.ru/production/catalog.pdf](http://www.vzpp-s.ru/production/catalog.pdf) (дата обращения: 30.08.2019).
13. Система беспроводного широкополосного доступа WiMIC-6000 / «Микран». URL: [www.micran.ru/productions/telecommunication/wireless](http://www.micran.ru/productions/telecommunication/wireless) (дата обращения: 30.08.2019).

14. Компания «Микран» адаптирует технологию ЦФАР для использования в базовых станциях 5G / «Микран». URL: [www.micran.ru/newsevents/news/330680](http://www.micran.ru/newsevents/news/330680) (дата обращения: 30.08.2019).
15. «Росэлектроника» приступила к выпуску транзисторов для сетей связи 5G / Ростех. URL: [www.rostec.ru/news/4521887](http://www.rostec.ru/news/4521887) (дата обращения: 30.08.2019).
16. Химич С. А., Колесов Ю. С., Глухов А. В., Шарафеев Т. Р. О реализации функций релейной защиты автоматики цифровых электрических подстанций с использованием вычислительных комплексов семейства «Эльбрус» // Радиопромышленность. 2019. № 29. С. 31—36.
17. Рабочая станция «Эльбрус 401-РС» (ТВГИ.466535.149) / ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука». URL: [www.ineum.ru/arm-elbрус401](http://www.ineum.ru/arm-elbрус401) (дата обращения: 30.08.2019).
18. Ким А. К., Перекатов В. И., Фельдман В. М. На пути к российской экзасистеме : планы разработчиков аппаратно-программной платформы «Эльбрус» по созданию суперкомпьютера экзафлопсной производительности // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 2. С. 6—13.
19. АО «БАЙКАЛ ЭЛЕКТРОНИКС». URL: [www.baikalelectronics.ru](http://www.baikalelectronics.ru) (дата обращения: 30.08.2019).
20. Bakhtin A., Omelyanchuk E., Mikhailov V., and Semenova A., “5G Base Station Prototyping : Architectures Overview,” 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Saint Petersburg and Moscow, Russia, 2019. Pp. 1564–1568.

## Информация об авторах

**Пономарев Олег Павлович**, доктор технических наук, профессор департамента радиоэлектроники и связи Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), г. Екатеринбург, Российская Федерация. ORCID 0000-0002-4973-529X.

**Мойсейченков Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), г. Екатеринбург, Российская Федерация. ORCID 0000-0002-2941-1298.

**Бахтин Александр Александрович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Телекоммуникационные системы» национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, Российская Федерация. ORCID 0000-0002-1107-0878.

**Омельянчук Елена Владимировна**, старший преподаватель кафедры «Телекоммуникационные системы» национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-0075-8383.

**Семенова Анастасия Юрьевна**, старший преподаватель кафедры «Телекоммуникационные системы» национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, Российская Федерация. ORCID 0000-0002-7835-4736.

**Михайлов Виктор Юрьевич**, аспирант кафедры «Телекоммуникационные системы» национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, Российская Федерация., г. Москва, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-2373-1124.

### Information about the authors

**Oleg P. Ponomarev**, Full Professor, Faculty of Radio Electronics and Communications of Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation. ORCID 0000-0002-4973-529X.

**Aleksandr N. Moiseichenkov**, Assistant Professor, Department of Electrical Machinery of Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation. ORCID 0000-0002-2941-1298.

**Aleksandr A. Bakhtin**, Assistant Professor, Telecommunication Systems Department of National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russian Federation. ORCID 0000-0002-1107-0878.

**Elena V. Omelyanchuk**, Senior Lecturer, Telecommunication Systems Department of National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russian Federation. ORCID 0000-0003-0075-8383.

**Anastasia Y. Semenova**, Senior Lecturer Telecommunication Systems Department of National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russian Federation. ORCID 0000-0002-7835-4736.

**Victor Y. Mikhailov**, Graduate Student, Telecommunication Systems Department of National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russian Federation. ORCID 0000-0003-2373-1124.