

# Анализ и обработка сигналов

УДК 681.391

## Развитие мобильной связи пятого поколения

© Авторы, 2018

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2018

**Ю.Б. Зубарев** – чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор, советник ген. директора ЗАО «МНИТИ» (Москва)

E-mail: osa@mniti.ru

**А.Г. Самойлов** – д.т.н., профессор, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

Рассмотрены проблемы организации сотовой связи пятого поколения 5G в миллиметровом диапазоне (ММД) волн. Отмечены основные достоинства и недостатки миллиметровых волн. Определены направления для поднятия энергетического потенциала в радиоканалах ММД.

**Ключевые слова:** сотовая связь, скорость передачи данных, стандарт цифровой связи, миллиметровые волны, технологии мобильной связи.

The problems of organization of cellular communication of the fifth generation 5G in millimeter waveband (MMD) are considered. The main merits and demerits of millimeter waves are noted. The directions for raising the energy potential in the radio channels MMD are determined.

**Keywords:** cellular communications, data transmission rate, digital communication standards, millimeter waves, mobile communication technologies.

История развития сотовой связи началась в 1981 г., когда шведская компания «Эрикссон» построила в Саудовской Аравии первую в мире сеть сотовой телефонной связи, положив начало первому поколению (1G) мобильных телекоммуникационных сетей беспроводной связи, работавших со скоростью передачи информации 2,4 Кбит/с. Второе поколение сотовой связи (2G) появилось через десять лет, когда аналоговые методы передачи информации стали заменять на более эффективные цифровые, используя новый стандарт цифровой связи GSM (Global System for Mobile Communications – Глобальная система мобильной связи), по которому информация передавалась уже со скоростью 64 Кбит/с.

Число абонентов сетей сотовой связи непрерывно росло и технологии стандарта GSM перестали удовлетворять растущее число пользователей. Появилась потребность в дополнительных услугах, таких как электронная почта, конференцсвязь и др. Это стимулировало создание систем третьего поколения 3G, использующих новый стандарт IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000 – Международная мобильная связь 2000) со скоростью передачи информации 2 Мбит/с. А через 10 лет уже этот стандарт перестал удовлетворять растущим требованиям по подключению новых услуг и в 2010 г. под эти требования Международный союз электросвязи (МСЭ) разработал новый стандарт четвертого поколения 4G LTE (Long-Term Evolution – долговременное развитие), который обеспечивал скорости передачи данных для стационарных абонентов до 2 Гбит/с, а для мобильных – не хуже 100 Мбит/с.

История развития сотовой связи наглядно показала эволюцию скорости передачи информации в мобильных телекоммуникационных сетях. Каждые десять лет происходил пересмотр базовых стандартов сотовой связи, их изменение и формирование нового поколения подвижной связи. И если замена первого поколения сотовой связи на второе связана с переходом от аналоговых методов передачи информации на более эффективные цифровые, то следующие замены поколений вызваны только непрерывным ростом числа абонентов сотовой связи, а также ростом числа и качества предоставляемых абонентам услуг. При этом переход к новому поколению сотовой связи всегда сопровождался ростом скорости передачи информации в сотовых сетях, что обеспечивалось разработкой новых протоколов связи и изменением приемопередающего сетевого и абонентского оборудования. Сегодня наиболее эффективный обмен данными между мобильными устройствами происходит в сетях LTE, использующих технологию передачи информации IP-пакетами по Интернету. Однако растущий объем трафика требует еще более высоких скоростей передачи данных.

Цель работы – рассмотреть проблемы организации сотовой связи пятого поколения 5G.

Специалисты по вопросам мобильных технологий отмечают, что в отрасли накопилось много технологических наработок, касающихся архитектуры и принципов функционирования сетей следующих поколений. Так, например, базовым технологическим решением является стандарт 4,5G. Стандарт 4,5G – это тип сетей LTE с гигабитными скоростями. Технические характеристики стандарта обуславливаются применением трех базовых решений: агрегации частот, многоантенной системы MIMO (Multiple Input, Multiple Output – множественный вход, множественный выход) и типа модуляционно-кодирующих схем.

Например, фирма Huawei организовала тестирование агрегации двух несущих из разных диапазонов в восходящем канале (Uplink Carrier Aggregation). При этом ширина частотных каналов отличалась в два раза: 10 МГц и 20 МГц в диапазонах 850 МГц и 2600 МГц соответственно. При использовании модуляции 64-QAM специалистам удалось увеличить скорость работы сети на 44%. Данный прирост пропускной способности актуален при уровнях сигнала от  $-85$  до  $-110$  дБм. Технология поддерживается некоторыми смартфонами, например, Samsung Galaxy S7 и LGGS.

Решение с четырьмя антеннами на прием и четырьмя антеннами на передачу (MIMO 4×4) поддерживается базовыми станциями Huawei RRV3971 для диапазона 1800 МГц и RRU3281 для 2600 МГц. Такое оборудование работает на беспроводных сетях в Таиланде. При использовании 4×4 MIMO в диапазоне 1800 МГц средняя скорость Интернет-соединения в стране возросла на 23%.

При использовании модуляции 256-QAM скорость увеличивается еще на 30% (по отношению к модуляции 64-QAM). Однако при этом есть ограничения по величине отношения сигнал/шум. Для использования высокоэффективных методов модуляции соотношение сигнал/шум должно быть высоким. В частности, если соотношение сигнал/шум составляет 25...29 дБ, то скорость увеличивается в среднем на 25%. Если отношение сигнал/шум немного упадет до уровня 24 дБ, то при применении модуляции 256-QAM скорость увеличится лишь на 8...9% по сравнению с 64-QAM. В связи с этим можно заключить, что данная модуляция эффективна только при нахождении абонентов рядом с базовыми станциями, что требует плотного размещения базовых станций и актуально для пико- и фемтосотовых структур [1].

Такие методы увеличения скорости передачи информации и привели к появлению промежуточных поколений сотовой связи, например, к поколению 4,5G, впервые запущенному в коммерческое использование в 2015 г. Стандарт 4,5G принят в коммерческое использование в Южной Корее, а как тестовый проект – в Сингапуре, Франции и Австралии. Кроме того, порядка 100 сетей 4,5G находятся на различных стадиях строительства в других странах. Характеристики сетей 4,5G в указанных регионах приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики сетей 4,5G в различных регионах

Регион	Кол-во агрегированных несущих	Ширина канала, МГц	Максимальная задействованная модуляция	MIMO	Максимальная скорость, Гбит/с
Корея	3	40	64-QAM	4×4	0,33
Сингапур	3	60	256-QAM		1
Франция	4	60	256-QAM		1,15
Австралия	5	100	256-QAM		1,41

Стандарт 4,5G рассматривают как переходной этап от 4G к 5G, который способен соответствовать прогнозируемому объему трафика в 2020 г. Так, к началу третьего десятилетия ожидается двукратное увеличение числа пользователей широкополосным Интернетом. Потребляемый каждым абонентом трафик возрастет до 5 Гбайт/мес., что в десять раз больше по сравнению с текущими показателями.

Человечество подошло к эпохе «Интернета вещей» (Internet of Things – IoT-устройство), когда автоматизация процессов в различных сферах деятельности приводит к исключению из них человека. Число подключенных к сети объектов IoT скоро превысит 3 млрд, что приведет к росту подключений в 7,5 раз. А новые технологии, такие как «Умный транспорт», «Умный дом», «Умный город» и автоматизированные сервисы медицинского, финансового и технического обслуживания, требуют все более высоких скоростей передачи информации. Также требуют высоких скоростей передачи информации беспроводные концентраторы, беспроводные проекторы высокой четкости, беспроводные видекамеры и устройства передачи видеосигнала от ресиверов цифрового ТВ к телевизорам высокой четкости. Поэтому на повестке дня сегодня стоит разработка нового стандарта уже для пятого поколения мобильной связи 5G,

названного МСЭ стандартом IMT-2020 (International Mobile Telecommunications for the year 2020 – Международная мобильная связь 2020). Кратко эволюция сотовой связи показана в табл. 2.

Таблица 2. Эволюция сотовой связи

Поколение	Начало разработки	Основные стандарты	Реальная скорость	Возможности	Услуги
1G	1980	NMT, AMPS	2,4 Кбит/с	Аналоговая связь	Звонки
2G	1990	GSM	64 Кбит/с	Цифровая связь	+ SMS
3G	2000	UMTS, CDMA2000	100 Кбит/с	Широкополосная цифровая связь	+ Интернет
4G	2010	LTE, WiMAX	5...100 Мбит/с	Скоростная цифровая связь	+ Видеостриминг
4,5G	2015	LTE	0,33...1,41 Гбит/с	Скоростная цифровая связь, Интернет-соединение	+ Видеостриминг
5G	2020	IMT-2020	до 20 Гбит/с	Широкополосная скоростная цифровая связь	+ Интернет вещей

Основным отличием и преимуществом сетей 5G является скорость передачи данных, которая возрастает в 10...100 раз по сравнению со скоростями 4G, а также время отклика сети при передаче сигнала, которое сократится приблизительно в пять раз по сравнению с 10...100 мс в сетях четвертого поколения.

Эти характеристики должны задать направление работ над стандартом 5G, которые уже начались. Первое заседание 3GPP по данному вопросу состоялось в конце 2015 г. Оно определило двухэтапную стратегию развития стандарта. Первый этап продлится до 2018 г., но первичные положения учтут не все требования. Дополнительную версию стандарта и спецификаций 5G можно ожидать не ранее 2019 г., а массовое коммерческое развертывание высокоскоростного покрытия сетей пятого поколения – не ранее 2020 г.

Проблема развития 5G – нехватка частотного ресурса. Одним из очевидных способов решения этой проблемы является высвобождение частот от предыдущих поколений связи. Другой способ расширения радиочастот – это освоение нелицензионного спектра.

Еще одной серьезной проблемой скорого развертывания 5G является совершенно новая инфраструктура высокоскоростных сетей. От пятого поколения ожидают глобального сетевого покрытия и высоконадежной бесперебойной работы. Это влечет за собой необходимость увеличения количества операторского оборудования, сложность его обслуживания и высокие затраты. Революционным решением в сетях мобильной связи может стать виртуализация архитектуры 5G, что позволит оптимизировать использование ресурсов и повысить производительность сетей. Так, американская компания Verizon заявила, что в следующем году представит коммерческий вариант 5G. Оператор обещает скорость в 30...50 раз выше, чем у существующих LTE в США. На 2017 г. было намечено тестирование сетей SKTelecom, объявившей о своем намерении стать первым оператором 5G. В 2020 г. сетью пятого поколения планирует обеспечить пользователей австралийская компания Telstra. Испытания в прототипах сетей 5G презентовали фирмы Huawei, Vodafone, Nokia и Sonera. Эти и другие представители телекоммуникационного рынка, например, Ericsson и Qualcomm, предлагают различные инновационные решения для 5G. Недавно компании Optus и Huawei обновили рекорд скорости передачи данных в сетях Pre-5G, разогнав их до 35 Гбит/с. Испытания проводились на частоте 73 ГГц. Однако стоит отметить, что правильнее относить эти прототипы сетей именно к Pre-5G, а не полноценным 5G, поскольку спецификаций сетей 5G пока еще нет.

Следует также отметить, что Европейский союз определил, что до 2025 г. мобильным соединением пятого поколения будет обеспечена вся городская инфраструктура и транспортные магистрали. Ожидается, что данный результат будет достигнут в несколько этапов: 2017 г. – тестовый запуск; 2018 г. – предкоммерческое использование; 2020 г. – коммерческая эксплуатация. Первой мировой площадкой запуска 5G могут стать Игры Содружества 2018 г. [2].

Ранее было сказано, что рост скорости передачи информации требует увеличения пропускной способности канала связи. Классическая теорема К. Шеннона [3] определяет пропускную способность канала связи как

$$C = \Delta f \log_2 \left( 1 + \frac{P_c}{N} \right) = \Delta f \log_2 \left[ 1 + \frac{E_c}{N_0} \left( \frac{C}{\Delta f} \right) \right], \quad (1)$$

где  $\Delta f$  – занимаемая системой полоса частот;  $P_c$  – средняя мощность сигнала;  $N$  – средняя мощность шума;  $E_b$  – энергия бита;  $N_0$  – спектральная плотность мощности шума.

Из выражения (1) следует, что есть два пути увеличения пропускной способности канала связи: первый путь – увеличение средней мощности сигнала  $P_c$  по отношению к суммарной энергии шума и помех; второй путь – расширение полосы частот  $\Delta f$ , занимаемой сигналом.

Кажется, что проблема легко решается простым увеличением мощности передатчиков абонентов, но это далеко не так. Дело в том, что электромагнитные излучения негативно воздействуют на здоровье человека [4] и повышение мощности носимых передатчиков вряд ли допустимо. Это не сложно доказать. Так, в соответствии с санитарными нормами, принятыми в РФ, предельно допустимый уровень облучения  $W_d$  для диапазонов частот выше 300 МГц не должен превышать величину  $W_d = 10$  мкВт/см<sup>2</sup>, а плотность потока энергии в соответствии с рекомендациями [5] определяется как

$$W = \frac{E^2}{3,77}, \text{ [мкВт/см}^2\text{]}, \quad (2)$$

где  $E$  – уровень напряженности электромагнитного поля:

$$E = \frac{KF_B F_T \sqrt{30PG}}{R}, \quad (3)$$

$K$  – коэффициент ослабления из-за отражателей, расположенных около антенны;  $F_B, F_T$  – нормированные диаграммы направленности антенны на расчетную точку в вертикальной и горизонтальной плоскостях;  $P$  – мощность передатчика;  $R$  – расстояние от расчетной точки до антенны.

Приравняв  $W = W_d = 10$  мкВт/см<sup>2</sup> и подставляя (3) в (2), найдем неопасную в соответствии с [5] мощность передатчика абонентской трубки сотовой связи при ее размещении на расстоянии 5 см от головы человека и облучении приблизительно 0,1 м<sup>2</sup> площади человека:

$$P = \frac{37,7R^2}{30GK^2 F_B^2 F_T^2} \cong 0,2 \text{ Вт}. \quad (4)$$

Так как средняя мощность передатчиков мобильных телефонов во время работы близка к величине, определяемой выражением (4), то увеличение мощности носимых абонентских телефонов становится недопустимым из-за возможного вреда здоровью человека. Поэтому для увеличения скорости передачи информации в беспроводных телефонных сетях нужно заботиться не столько о мощности передатчиков, сколько о ширине используемой полосы частот.

Зависимость пропускной способности канала связи от ширины используемой полосы частот, как видно из выражения (1), линейная, и увеличение скорости передачи информации в десять раз потребует десятикратного расширения используемой полосы частот. С расширением используемой полосы частот растет и уровень шума на входе приемника. Для компенсации этого придется или несколько увеличить мощность передатчиков, или применять новые методы пространственного и помехоустойчивого кодирования.

Растущий объем трафика требует увеличения скорости передачи информации в десятки раз, поэтому для систем поколения 5G будет нужна полоса частот в несколько гигагерц [6]. Такую полосу частот можно выделить, только перераспределяя уже занятые частоты или используя еще не полностью занятый миллиметровый диапазон частот (ММД). Можно попытаться освободить нижнюю часть так называемого «военного диапазона» частот в интервале 6...9 ГГц, но опыт освоения поколений беспроводной связи 2G и 3G показывает, что перераспределение частот – дело экономически весьма затратное и занимает длительный период времени. Да и интервал частот в случае его освобождения не позволит удовлетворить непрерывно растущие потребности в увеличении скорости передачи информации. Именно поэтому большинство разработчиков перспективного оборудования беспроводной радиосвязи устремились в ММД.

Расширение используемой для беспроводного доступа полосы частот с помощью ММД дает также возможность переходить от бинарных сигналов при передаче информации к  $N$ -мерным и передавать группу бит одной посылкой из множества  $N$  аналогично, например, модуляции QPSK, когда одной посылкой передаются два информационных бита и скорость передачи информации удваивается. Этот метод требует создания метрического множества из ортогональных сигналов и увеличение скорости пере-

дачи информации напрямую связано с размерами этого множества. Поисковые работы в этом направлении ведутся по всему миру.

Несомненно, что использование ММД для подвижной связи встретит много трудностей. В первую очередь, они вызваны сильным затуханием миллиметровых волн при их распространении [7]. Даже при распространении в свободном пространстве затухание сигналов ММД велико и определяется выражением

$$B = 20 \lg \left( \frac{4\pi Rf}{C} \right), \quad (5)$$

где  $R$  – расстояние между передатчиком и приемником;  $C$  – скорость света;  $f$  – частота несущей.

Например, на расстоянии 1 км на частоте 50 ГГц затухание сигнала ММД в свободном пространстве составит 126,4 дБ, а такое сильное затухание сигналов потребует разработки новых методов и аппаратных средств для организации связи в диапазоне ММД. Но этим сложности освоения ММД не ограничиваются. К ослаблению сигнала ММД, определяемому выражением (5), добавляется его ослабление в газах атмосферы, в дождях и других гидрометеорах, ослабление в листве деревьев [8] и ослабление при распространении сигнала через стены зданий и сооружений.

Сложность передачи информации по каналам ММД усугубляется также наличием многолучевости при распространении [9], так как даже небольшие по площади предметы могут быть эффективными отражателями сигналов ММД. Сильно ослабляются сигналы ММД и при прохождении через бетон и кирпич [10], что затрудняет использование диапазона для сотовой связи в городской черте и требует привлечения в состав сетевого оборудования новых устройств – таких, например, как репитеры. Дожди, снег, град, туман [11] тоже значительно ослабляют распространение миллиметровых волн.

Однако к настоящему времени большинство негативных явлений, связанных с распространением радиоволн ММД, практически исследованы, что позволяет определить необходимый энергетический потенциал для их преодоления. Например, ослабление в дождях [6] можно описать выражением

$$B_{\text{д}} = \left( \frac{f}{70} \right)^2 Y, \quad [\text{дБ/км}], \quad (6)$$

где  $Y$  – интенсивность дождя, мм/ч;  $f$  – несущая частота, ГГц.

Затухание в газах атмосферы, сильно зависящее от молекул кислорода и паров воды, подчиняется известной зависимости [7], показанной на рис. 1.

Выявленная исследователями зависимость дала возможность найти зоны наилучшего распространения сигналов ММД через атмосферу (так называемые «окна прозрачности» атмосферы при длинах волн 3 мм и 8 мм) и определить запас по энергетике для линий связи. Способствует освоению ММД и то, что основные свойства миллиметровых волн изучены достаточно подробно [6, 7, 11–14].

В настоящее время ММД уже частично используется: например, частоты 27...32 ГГц и 36...38 ГГц применяют для обеспечения радиодоступа при построении телекоммуникационных сетей. Такие системы получили название LMDS (Local Multipoint Distribution Service – локальная многоточечная распределенная служба связи). А частоты 40,5...42,5 ГГц применяют для сетей телевидения, и такое оборудование получило название MVDS (Multipoint Video Distribution Systems – многоточечная распределенная видео служба). Диапазон частот от 36 ГГц до 40,5 ГГц в РФ активно используют для наземной радиорелейной связи и, например, только одно научно-производственное предприятие «Микран» выпускает целую линейку радиорелейного оборудования ММД. Но свободные участки спектра в ММД имеются и это дает простор для создания и освоения нового поколения мобильной связи 5G.

Так, компания Nokia провела эксперименты по передаче данных на частотах свыше 70 ГГц. Компании Ericsson, Cisco, Samsung, Huawei, Qualcomm, NTT DoCoMo и другие гиганты отрасли производителей оборудования для сетей связи не отстают от Nokia и тоже включились в гонку по созданию оборудования для поколения систем мобильной связи 5G.

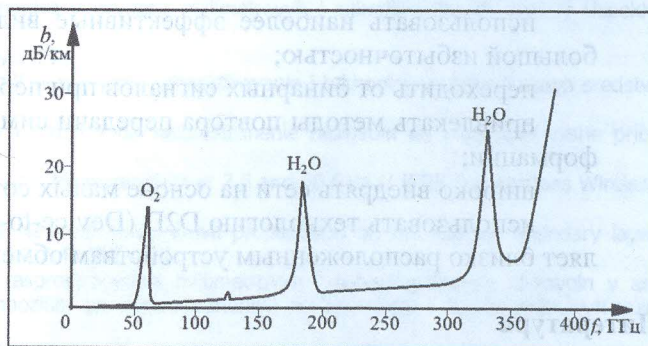


Рис. 1. График зависимости поглощения сигналов ММД в чистой атмосфере



Рис. 2. Фото прототипа сети 5G

И определенные успехи уже есть. На рис. 2 показан прототип системы 5G, представленный SKTelecom на выставке в 2016 г. В Санкт-Петербурге на Международном экономическом форуме «МегаФон» и Huawei на своем стенде представили в действии базовую станцию пятого поколения в частотном диапазоне 70 ГГц с шириной полосы пропускания 2 ГГц, продемонстрировав работу сети пятого поколения на скорости 35 Гбит/с.

Компании Ericsson на экспериментальной линии связи удалось более чем в 50 раз поднять скорость передачи информации и достичь скорости 5 Гбит/с. Фирма Samsung в 2014 г. заявила о достижении скорости передачи информации в 7,5 Гбит/с и скорости 1,2 Гбит/с в движущемся со скоростью более 100 км/ч автомобиле.

Партнерство «Евросоюз – Китай» планирует увеличить скорость поколения связи 5G в 100 раз. Эти результаты, широко освещенные в Интернете, потенциально возможны лишь в ММД. В российских городах тестовые 5G-зоны планируют развернуть при подготовке к Чемпионату мира по футболу 2018 г. Сети нового поколения намечается испытать в Москве, Санкт-Петербурге, Сочи и Казани.

- Рассмотренные особенности каналов ММД указывают на трудности создания систем подвижной связи поколения 5G в ММД. Однако других путей не видно, и в самое ближайшее время специалистам потребуется создавать новые средства для работы в ММД и разрабатывать новые протоколы передачи информации по таким радиоканалам.

Основой для оптимизма в деле использования ММД для построения систем передачи информации поколения 5G являются несомненные достоинства этого диапазона. К ним можно отнести широкий спектр частот, сравнительно мало пока используемых, и малую длину волны сигналов ММД. Эти достоинства позволяют предложить и возможные пути для создания систем подвижной связи поколения 5G.

Миллиметровые размеры антенн и диапазон частот в десятки гигагерц дают возможность использовать имеющуюся пространственную и частотную избыточность [14] при передаче и на приеме, что позволит рекомендовать некоторые пути для поднятия энергетического потенциала в радиоканалах ММД, а именно:

- использовать на приеме управляемые сигналами базовых станций фазированные антенные решетки с высоким коэффициентом усиления;
- применять при передаче и на приеме антенные решетки для использования достоинств методов разнесенного приема;
- передавать на разных частотах и принимать одновременно несколько сигналов, используя технологию MIMO;
- использовать наиболее эффективные виды помехоустойчивого кодирования, в том числе с большой избыточностью;
- переходить от бинарных сигналов при передаче информации к  $N$ -мерным;
- привлекать методы повтора передачи символов, если позволит высокая скорость передачи информации;
- широко внедрять сети на основе малых сот;
- использовать технологию D2D (Device-to-Device – от устройства к устройству), которая позволяет близко расположенным устройствам обмениваться данными напрямую.

## Литература

1. 4,5G – сети будущего в настоящем // Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи [Электронный ресурс]. URL = <http://1234g.ru/novosti/4-5g>.

2. Сети мобильной связи пятого поколения: предпосылки, проблемы, стандартизация и кто первый запустит 5G // Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи [Электронный ресурс]. URL = <http://1234g.ru/novosti/seti-pyatogo-pokoleniya-predposylki-problemy-standartizatsiya-i-kto-pervyi-zapustit-5g>.
3. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностранной лит-ры. 1963. 829 с.
4. Зубарев Ю.Б. Мобильный телефон и здоровье. М.: ЗАО «МНИТИ». 2017. 98 с.
5. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4/2.1.8.055 96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона.
6. Жоу Ю Пи, Фарук Хан Введение в широкополосные системы связи миллиметрового диапазона // Электроника: наука, технологии, бизнес. 2012. № 3. С. 86–94.
7. Быстров Р.П., Соколов А.В., Федорова Л.В., Чеканов Р.Н. Достижения в освоении миллиметровых и субмиллиметровых волн // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 6. С. 52–78.
8. Рекомендация МСЭ-R P.833-5. Ослабление сигналов растительностью. 13 с.
9. Жоу А., Самойлов А.Г. Оценка замираний сигнала на линиях спутниковой связи // Проектирование и технология электронных средств. 2014. № 2. С. 19–25.
10. Рекомендация МСЭ-R P.2040. Влияние строительных материалов и структур на распространение радиоволн на частотах выше приблизительно 100 МГц. 54 с.
11. Anderson C.R. and Rappaport T.S. In-Building Wideband Partition Loss Measurements at 2.5 and 60 GHz // IEEE Transactions Wireless Communications. May 2004. V. 3. № 3.
12. Konkov E.V., Zrazhevsky A.U., Solovov G.N. Investigations of the Near-Millimeter-Wave propagation on the surface boundary layer path // Int. Journal of Infrared and Millimeter Waves. 1992. V. 13. № 7. P. 955–969.
13. Колосов М.А., Соколов А.В. Основные направления исследований распространения миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн в атмосфере, возможности применения // Всесоюзная школа-симпозиум по распространению миллиметровых и субмиллиметровых волн в атмосфере. М.: ИРЭ АН СССР. 1982. С. 3–24.
14. Полущин П.А., Самойлов А.Г. Избыточность сигналов в радиосвязи / Под ред. А.Г. Самойлова. М.: Радиотехника. 2007. 256 с.

Поступила 17 августа 2017 г.

## On the development of mobile communication fifth generation

© Authors, 2018

© Radiotekhnika, 2018

**Yu.B. Zubarev** – Corresponding Member of RAS, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Adviser General Director of JSC «MNIIT» (Moscow)  
E-mail: [osa@mniit.ru](mailto:osa@mniit.ru)

**A.G. Samoilov** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Vladimir State University named after A.&N. Stoletovs

The problems of organization of cellular communication of the fifth generation 5G in millimeter waveband (MMD) are considered. The main merits and demerits of millimeter waves are noted. The directions for raising the energy potential in the radio channels MMD are determined. Millimeter-sized antennas and a frequency range of tens of gigahertz make it possible to use the available spatial and frequency redundancy in transmission and reception.

### References

1. 4,5G – seti budushchego v nastoyashchem // Portal o sovremennykh tekhnologiyah mobil'noj i besprovodnoj svyazi (ehlektronnyy resurs). URL = <http://1234g.ru/novosti/4-5g>.
2. Seti mobil'noj svyazi pyatogo pokoleniya: predposylki, problemy, standartizatsiya i kto pervyj zapustit 5G // Portal o sovremennykh tekhnologiyah mobil'noj i besprovodnoj svyazi (ehlektronnyy resurs). URL = <http://1234g.ru/novosti/seti-pyatogo-pokoleniya-predposylki-problemy-standartizatsiya-i-kto-pervyi-zapustit-5g>.
3. Shennon K.E. Raboty po teorii informatsii i kibernetike. M.: Izd-vo inostrannoj lit-ry. 1963. 829 s.
4. Zubarev Yu.B. Mobil'nyj telefon i zdorov'e. M.: Izd-vo ZAO «MNIIT». 2017. 98 s.
5. Sanitarnye pravila i normy SanPiN 2.2.4/2.1.8.055 96. Elektromagnitnye izlucheniya radiochastotnogo diapazona.
6. Zhouyu Pi, Faruk Han Vvedenie v shirokopolosnye sistemy svyazi millimetrovogo diapazona // Ehlektronika: nauka, tekhnologii, biznes. 2012. № 3. S. 86–94.
7. Bystrov R.P., Sokolov A.V., Fedorova L.V., Chekanov R.N. Dostizheniya v osvoenii millimetrovyyh i submillimetrovyyh voln // Uspekhi sovremennoj radioehlektroniki. 2009. № 6. S. 52–78.
8. Rekomendatsiya MSEH-R P.833-5. Oslablenie signalov rastitel'nost'yu. 13 s.
9. Zhou A., Samojlov A.G. Ocenka zamiraniy signala na liniyah sputnikovoj svyazi // Proektirovanie i tekhnologiya ehlektronnykh sredstv. 2014. № 2. S. 19–25.
10. Rekomendatsiya MSEH-R R.2040. Vliyanie stroitel'nykh materialov i struktur na rasprostranenie radiovoln na chastotah vyshe priblizitel'no 100 MGc. 54 s.
11. Anderson S.R. and Rappaport T.S. In-Building Wideband Partition Loss Measurements at 2.5 and 60 GHz // IEEE Transactions Wireless Communications. May 2004. V. 3. № 3.
12. Konkov E.V., Zrazhevsky A.U., Solovov G.N. Investigations of the Near-Millimeter-Wave propagation on the surface boundary layer path // Int. Journal of Infrared and Millimeter Waves. 1992. V. 13. № 7. P. 955–969.
13. Kolosov M.A., Sokolov A.V. Osnovnyye napravleniya issledovaniy rasprostraneniya millimetrovyyh i submillimetrovyyh radiovoln v atmosfere, vozmozhnosti primeneniya // Vsesoyuznaya shkola-simpozium po rasprostraneniyu millimetrovyyh i submillimetrovyyh voln v atmosfere. M.: IREH AN SSSR. 1982. S. 3–24.
14. Polushin P.A., Samojlov A.G. Izbytochnost' signalov v radiosvyazi / Pod red. A.G. Samojlova. M.: Radiotekhnika. 2007. 256 s.