

## Перспективы использования и развития оборудования пакетной радиосвязи миллиметрового диапазона операторами связи

Д.С. Клюев, С.А. Коршунов, С.В. Ситникова, Ю.В. Соколова, С.Е. Платонов

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
443010, Российская Федерация, г. Самара  
ул. Л. Толстого, 23

В статье освещены преимущества и примеры использования оборудования пакетной радиосвязи миллиметрового диапазона для операторов связи. Указаны особенности распространения радиоволн миллиметрового диапазона в атмосфере. Проведен анализ мировых и российских производителей оборудования пакетной радиосвязи миллиметрового диапазона. Отмечены их основные достоинства и недостатки. В статье высказываются некоторые рекомендации по использованию представленных в анализе моделей оборудования. Описаны перспективы развития оборудования пакетной радиосвязи миллиметрового диапазона.

*Ключевые слова:* пакетная радиосвязь, миллиметровый диапазон, особенности распространения радиоволн миллиметрового диапазона, операторская сеть, анализ моделей оборудования пакетной радиосвязи миллиметрового диапазона, перспективы использования оборудования операторами связи, решение ГКРЧ от 15 июля 2010 года № 10-07-04-1/ 10-07-04-02, E-band.

### Введение

Значительно возросли потоки информации, а вместе с тем и скорости передачи на огромные расстояния. Сигналы передаются с использованием различных средств: оптоволоконных линий передачи, медных кабелей и др. Однако существующие ресурсы постепенно исчерпываются из-за существующих в них ограничений по объему и скорости передачи данных. Тем не менее, до сих пор еще не использованным в полном объеме, остается метод передачи информации с помощью радиоволн. Не смотря на загруженность радиочастотного спектра, остаются, достаточно, широкие полосы частот, которые осваиваются по мере развития технической базы: схемотехнических устройств, антенн и прочее.

В настоящее время основные мобильные системы связи работают на частотах до 3 ГГц: системы связи 4G (ограничиваются рабочей частотой 2665 МГц (LTE сети)). При этом обеспечивается скорость передачи данных до 100 Мбит/с. С одной стороны, данные показатели очень хороши для современного пользователя, а с другой - потребности растут с каждым годом, и в ближайшем будущем этого может не хватить для удовлетворения спроса. Вот здесь и потребуются системы связи миллиметрового диапазона [1]. На

сегодняшний день основную часть капитальных затрат оператора занимает строительство сетей связи, включающих в себя линии, программное обеспечение и объекты связи. Быстро вводимыми в коммерческую эксплуатацию считаются кабельные линии связи, такие как волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

Сложнее ситуация обстоит со строительством радиосетей. Основная сложность заключается в присвоении частот и согласовании частотно-территориального плана. Данный процесс может занимать от 6-ти месяцев до 1,5 лет. И в это время построенные радио-объекты нельзя ввести в коммерческую эксплуатацию, за исключением эксплуатации с целью настройки работы оборудования и тестовых испытаний. А при этом потребности пакетной передачи данных по радиоканалам постоянно растут. Важную роль здесь начинают играть радиорелейные станции (РРС) миллиметрового диапазона волн. Миллиметровый диапазон (диапазон крайневысоких частот КВЧ) занимает спектр частот от 30 до 300 ГГц. Он находится между СВЧ (от 1 до 30 ГГц) и инфракрасным диапазоном. Длина волны ( $\lambda$ ) находится в диапазоне от 1 до 10 мм.

Возрастающая нагрузка широко используемых микроволновых диапазонов (6–38 ГГц) под-

разумевала, что проектировщики должны начать рассматривать альтернативные диапазоны частот. Наконец, с достижением мегабитных и даже гигабитных скоростей передачи данных в сетях связи новых поколений, требовались новые парадигмы для создания беспроводных систем связи. В настоящее время частоты 71–76 и 81–86 ГГц используются системами радиодоступа для организации сверхвысокоскоростных (до нескольких Гбит/с) полнодуплексных линий связи различных сетевых топологий: от простейших «точка-точка» до сложных кольцевых структур [2; 3]. Особенности миллиметровых радиоволн определяют их широкое применение в системах радиолокации, дистанционного зондирования, навигации и связи. Наиболее перспективным в настоящий момент является использование радиоволн миллиметрового диапазона для создания сверхвысокоскоростных беспроводных транспортных сетей мобильного трафика. Такие сети уже сейчас способны обеспечить скорость передачи данных до 10 Гбит/с, используя при этом более простые методы модуляции без применения дополнительных алгоритмов кодирования. В настоящий момент в Европе, ведутся разработки оборудования, которое введет новый стандарт сотовой связи – 5G. В планах к 2020 году завершить все работы по проектированию и созданию такого оборудования и провести комплекс испытаний с целью дальнейшего внедрения нового стандарта в повседневное использование гражданами. Аналогичные разработки ведутся и в России компанией ОАО «Мегафон» совместно с китайской компанией «Huawei», причем амбиции этих двух гигантов несколько выше, нежели у европейских коллег, что следует из заявления, размещенного на сайте компании «Huawei»: «Сеть нового поколения будет протестирована накануне Чемпионата мира по футболу 2018 года», который, как известно многим, будет проходить в России. Данное обстоятельство накладывает особые обязательства на «Мегафон». Останется надеяться, что у двух гигантов получится реализовать задуманное [4].

## 1. Особенности распространения радиоволн миллиметрового диапазона

*Ослабление радиосигнала в атмосфере.* Известно, что после резонансного пика поглощения, превышающего 10–15 дБ на частотах близких к 60 ГГц, следует окно прозрачности

на участке частот от 70 до 100 ГГц. Здесь внесимое атмосферой, точнее содержащимся в ней молекулярным кислородом, ослабление сигнала на километр дальности составит не более 0.5 дБ, т. е. будет незначительно превышать ослабление на частотах традиционных радиорелейных систем диапазонов от 23 ГГц и выше. Данное обстоятельство послужило одной из предпосылок для освоения именно этого участка частот [5; 6].

Ослабление радиоволн при дожде различной интенсивности. В зависимости от интенсивности дождя ослабление сигнала может колебаться от 1 дБ/км в случае изморози и до 20 дБ/км при сильном ливне интенсивностью 50 мм/ч, который в центральной и европейской части России в июне-июле месяце – явление частое. Облегчает ситуацию то, что сильные ливни, как правило, носят кратковременный характер и имеют не большую территориальную протяженность. Коэффициент ослабления в снегопадах с сухим снегом существенно меньше, чем в дожде. В итоге при сильном дожде на интервале длиной в 4–5 км, суммарное ослабление сигнала, получаемое из ослабления сигнала в поле свободного пространства, в атмосфере и дожде может достигать величин 180–190 дБ. Сравним: для радиорелейных систем диапазонов до 13 ГГц, расчетная величина ослабления сигнала на тех же 4–5 км не превысит 130 дБ. Успешная работа систем E-диапазона в условиях таких значительных ослаблений сигнала обеспечивается за счет нескольких факторов.

Первый фактор, это использование наиболее помехозащищенных типов модуляции BPSK и/или QPSK (реже 16QAM–256QAM). Гигабитные скорости достигаются за счет того, что, с одной стороны, отведенная для рассматриваемых систем полоса частот в каждом поддиапазоне составляет 10 ГГц, а с другой – максимальная ширина канала пока не оговаривается, и большинство производителей для приема и передачи используют полосы до 1000–2000 МГц в поддиапазонах 70 и 80 ГГц. При этом дуплексный разнос Tx-Rx составляет 10 ГГц.

Второй фактор заключается в том, что в данном диапазоне даже небольшие антенны имеют высокий коэффициент усиления. Сравнивая характеристики антенн E-диапазона и 23 ГГц, получаем прирост усиления в 10 дБ для диаметра 30 см и 12 дБ для диаметра 60 см. В итоге при использовании антенн диаметра 60 см энергетический бюджет радиолинии увеличится на

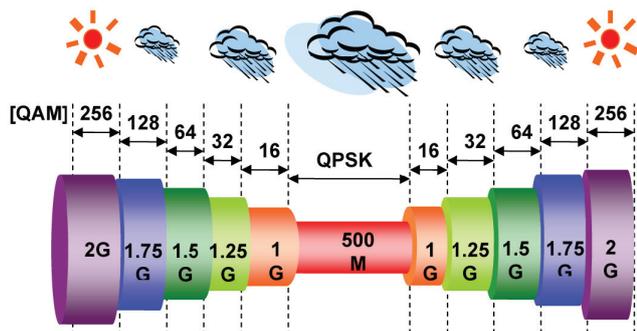


Рис. 1. Пропускная способность (Мб/с) при ширине полосы 250 МГц [12]

24 дБ. Помимо высокого коэффициента усиления при малых габаритах антенны E-диапазона формируют очень узкую диаграмму направленности, ширина главного лепестка которой составляет менее 1 градуса. Таким образом, для антенны 60 см. на расстоянии 4 км мы получаем пятно засветки диаметром около 35 м. При установке аналогичной системы, работающей в том же направлении на одном объекте, к примеру, на крыше здания во избежание взаимных помех достаточно разнести места расположения на 20–25 м. Беспроводные системы E-диапазона комплектуются антеннами 30 или 60 см с усилением 45 и 52 дБ. Благодаря свойству волн частотного диапазона 70–90 ГГц, заключающемуся в том, что при длине волны в 3–4 мм они практически не могут эффективно отражаться в условиях городской застройки, возможность возникновения многолучевого распространения сигнала, приводящего к интерференции радиоволн, полностью исключается. Некоторые производители в целях дополнительного увеличения энергетического бюджета радиолинии реализуют различные схемы адаптации оборудования к текущим условиям распространения радиосигнала. Для приближения к предельно возможной скорости передачи информации используют различные способы модуляции и кодирования в различных пространственно-частотных каналах.

На базе оборудования E-диапазона можно в кратчайшие сроки развернуть полноценную гигабитную сеть передачи данных в условиях плотной городской застройки с использованием резервирования на базе кольцевой структуры построения сети [7]. Это является актуальной задачей для операторов фиксированной и мобильной связи, а также Интернет-провайдеров. Кроме того, при построении оптических колец, системы E-диапазона могут использоваться как вставки в такое кольцо для прохождения слож-

ных участков. При неоспоримом достоинстве в сверхвысокой пропускной способности, системы E-диапазона, по сравнению с традиционными радиорелейными системами имеют ограничения по расстоянию. К примеру, при коэффициенте готовности линии в 99.995 % в зависимости от типа оборудования для европейской части территории РФ протяженность интервала не должна превышать 4 км. Тем не менее, при снижении требований к доступности линии, например, если есть альтернативный канал связи, протяженность интервала может быть значительно увеличена. Успешное применение данного оборудования обусловлено их высокой пропускной способностью и простотой юридического оформления радиоканала. Они представляют собой недорогую альтернативу волоконно-оптическим линиям связи, быстро разворачиваются и не требуют наличия кабельной канализации. Они эффективны для построения распределительных сетей (backhaul) для инфраструктур 4G/LTE, быстрого развертывания временных линий связи, резервирования оптических каналов, колец и последних миль. Такие РРС могут применяться для построения локальных и корпоративных сетей, а также передачи телепрограмм групповым абонентам. С целью анализа функциональных возможностей оборудования в данной работе проведен анализ представленных на рынке моделей который указан в таблице.

## 2. Анализ применимости моделей оборудования пакетной радиосвязи миллиметрового диапазона

На сегодняшний день данное оборудование представлено следующими марками: E-Link 1000Q (E-Band, США); EtherHaul-1200 (Siklu, Израиль); РРС-1000 (ДОК, Россия); iPasolink (NEC, Япония), Nateks Multilink-E-10G (Россия), FlexPort 80-3000 (BridgeWave, США), UltraLink F80 (Intracom-Telecom), ALFOplus80v1(SIAE Microelettronica, Италия) [3; 8–13]. На территории Российской Федерации могут быть использованы РРС e-диапазона, основные технические характеристики которых представлены в решении ГКРЧ от 15 июля 2010 года № 10-07-04-1/10-07-04-02.

По опыту общения с операторами связи и представителями дистрибьюторов чаще всего данное оборудование используют федеральные операторы связи, реже операторы имеющие

**Таблица**  
Технические характеристики PPS e-диапазона, полностью удовлетворяющие требованиям решения ГКРЧ от 15 июля 2010 года № 10-07-04-1/ 10-07-04-02

Производитель	BridgeWave	Ericsson	Siklu	ДОК	NEC	NATEKS	E-Band Communications	Intracom-Telecom	SIAE Micro-electronica
Модель	FlexPort 80-3000	MINI-LINK PT 6010	EtherHaul 1200	PPC-1000	iPasolinkEX	MULTILINK-E-10G	E-Link 1000Q	UltraLink F80	ALFOPplus80 v1
Диапазон, ГГц	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86
Максимальная ширина канала, МГц	2 × 1000	2 × 1000	500	2 × 1250	500	250, 500 и 750	2 × 1000	125-500	250-500
Максимальная задержка, мкс	65	65	350	50		< 50 мкс	5		5
Модуляция	BPSK/QPSK	QPSK	QPSK/16/64QAM	QPSK	QPSK/256QAM	QPSK, 8PSK, 16/32/64 QAM	QPSK	16/64QAM/QPSK	4/16/64 QAM
Пропускная способность, Мбит/с	2 × 1200	2 × 1000	1000	2 × 1000	2 × 3200	83-3000	2 × 1250	1000	2500
Конфигурации	1+0,1+1,2+0	1+0,1+1,2+0	1+0,1+1,2+0	1+0,1+1,2+0	1+0,1+1,2+0	1+1	1+0,1+1,2+0	1+0,1+1,2+0	1+0, 1+1, 2 × (1+0)
Дальность действия, км	5-6	2	3	10	4	16	5	2,5	6
Разделение по частоте/времени	Full duplex	Full duplex	FDD	Full duplex	Full duplex	Частотный дуплекс	Full duplex	FDD	Full duplex
Диаметр антенны, см	30, 60	30, 60	30, 60	30, 45, 60, 90	30, 60	6, 26	30, 60	26, 31, 65	20, 30, 60
Рабочая температура, °С	-33 ... +55 °С	-33 ... +55 °С	-45 ... +55 °С	-50 ... +60 °С	-45 ... +55 °С	-50 ... +60 °С	-45 ... +60 °С	-45 ... +55 °С	-40 ... +55 °С

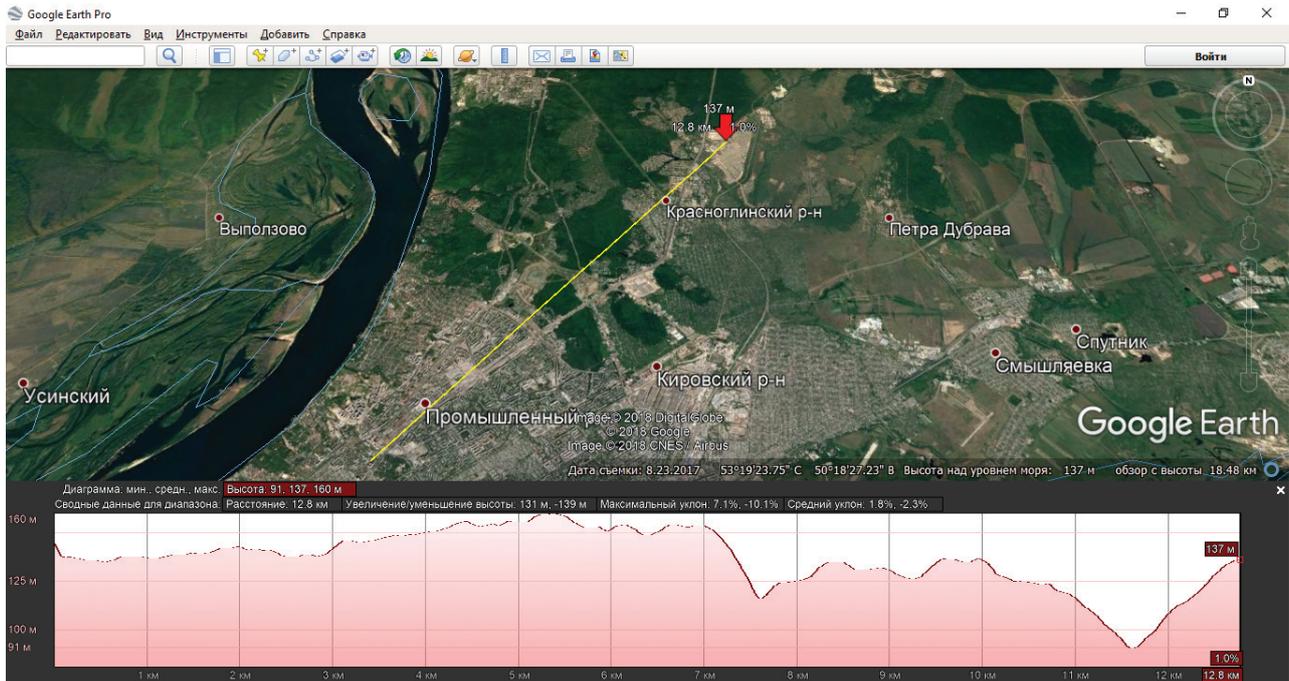


Рис. 2. Радиопролет ФГУП РТСР «Самарский ОРТПЦ – п. Красные Ключи»

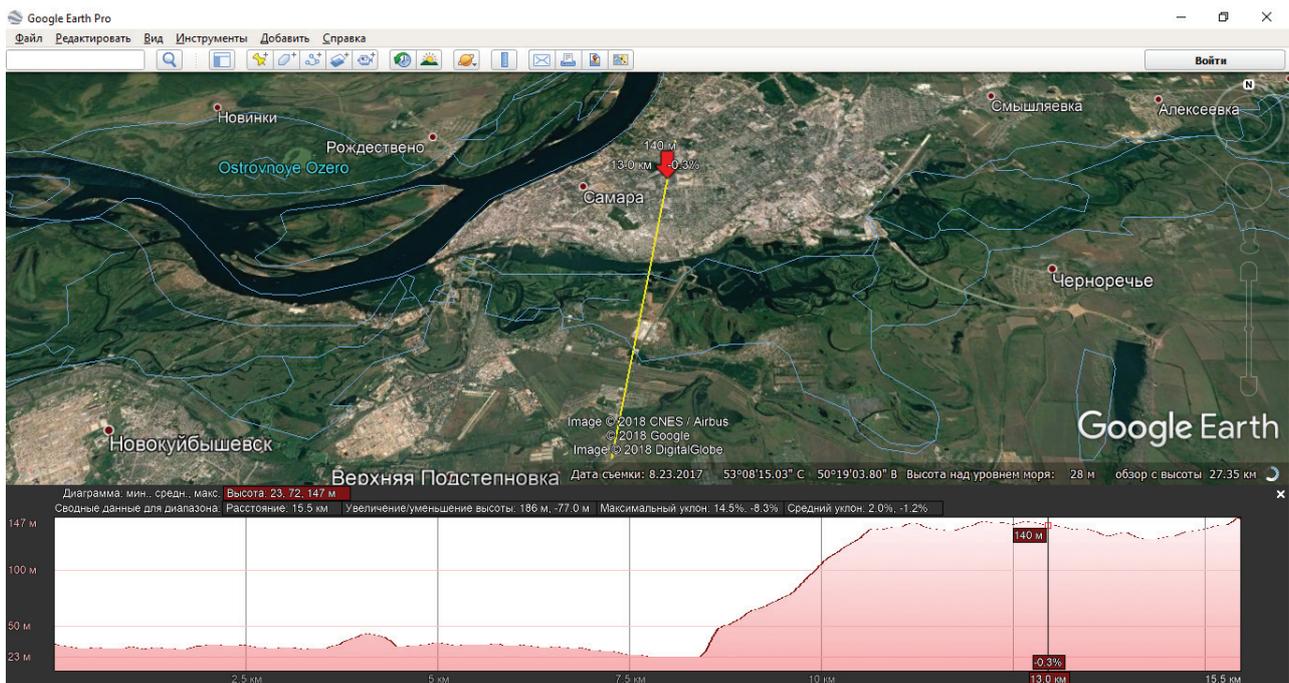


Рис. 3. Радиопролет ФГУП РТСР «Самарский ОРТПЦ – «Южный Город»

лицензии на несколько регионов и совсем редко, региональные с зоной действия лицензий на один регион. Это видимо объясняется финансовыми возможностями и технической стратегией компаний.

Хотя если взять за пример приведения сигнала в новые географические районы города Самара застройщиков «Кошелев-проект» и компанией «Древо», то увидим следующую ситуацию. Смоделируем приведение сигнала от объекта ФГУП

РТСР «Самарский ОРТПЦ» ул. Советской Армии, 205 до п. Красный Ключ жилой район компании «Кошелев Проект» как показано на рис. 2 и на рис. 3 ФГУП РТСР «Самарский ОРТПЦ» – «Южный Город 2» от компании «Древо».

В первом случае длина радиопролета составила – 12,79 км, во втором случае – 15,74 км. Если доставлять услуги связи с помощью кабельных решений, то мы получим следующую картину. Если посмотреть на схему прокладки волоконно-

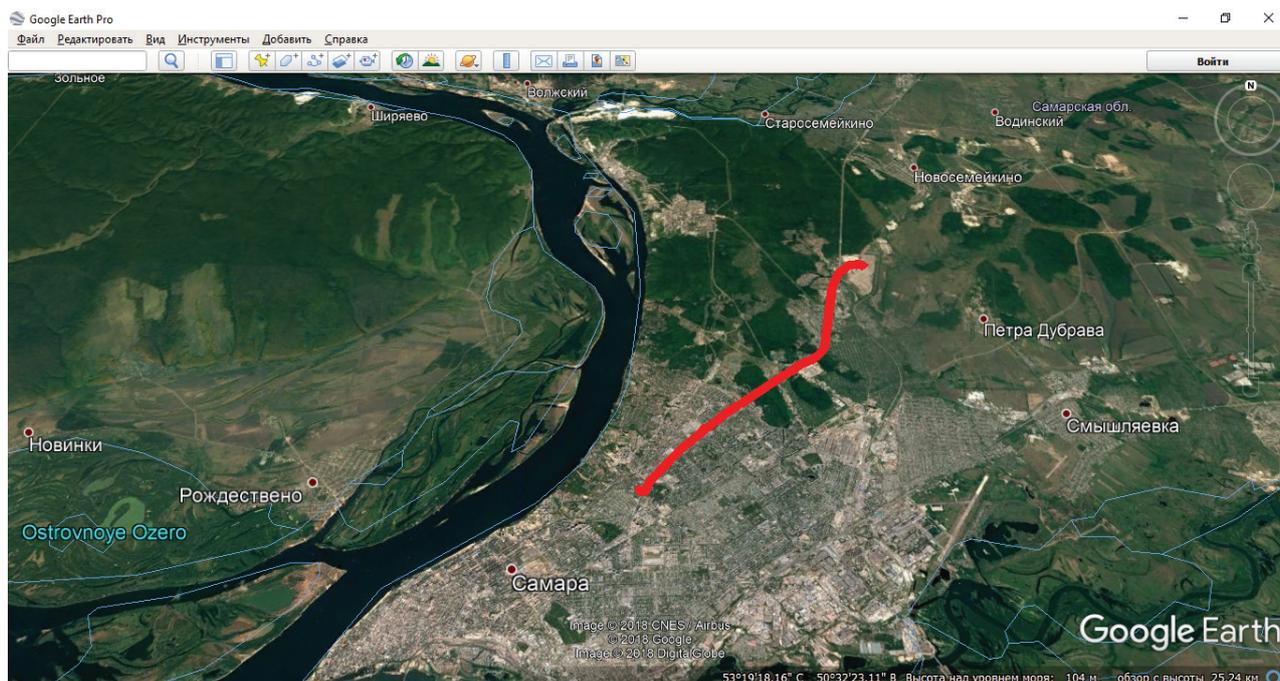


Рис. 4. Трасса ВОЛС на участке ФГУП РТРС «Самарский ОРТПЦ» – «Кошелев Проект»

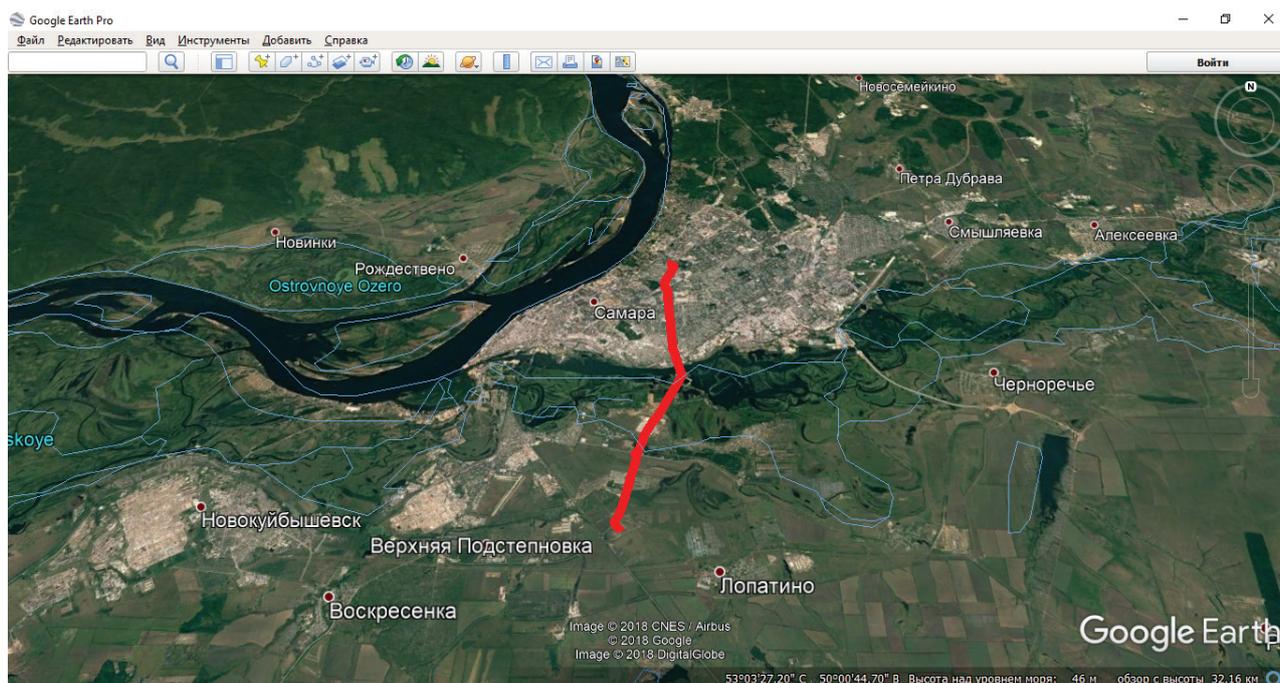


Рис. 5. Трасса ВОЛС на участке ФГУП РТРС «Самарский ОРТПЦ» – «Южный Город»

оптической линии связи, то получим до жилого района «Кошелев Проект» – 14,5 км, как показано на рис. 4. В случае прокладки ВОЛС до «Южный город 2» – 16,20 км, как показано на рис. 5.

Проектирование ВОЛС осуществлялось самым коротким путем. Исходя из заявленных характеристик производителями в 10 и 16 км соответственно, данный пролет можно организовать с использованием оборудования компаний ДОК и NATEKS.

Радио пролет с учетом монтажа и получения ТУ на размещение, при наличии оборудования на складе, максимально быстро можно организовать за 30 рабочих дней.

Сомневаюсь, что даже имея на складе волоконно-оптический кабель, за равное время можно получить ТУ на подвес или прокладку кабеля от ФГУП РТРС «Самарский ОРТПЦ» до «Кошелев Проект» или «Южный город 2». Также как найти организацию, которая предоставит

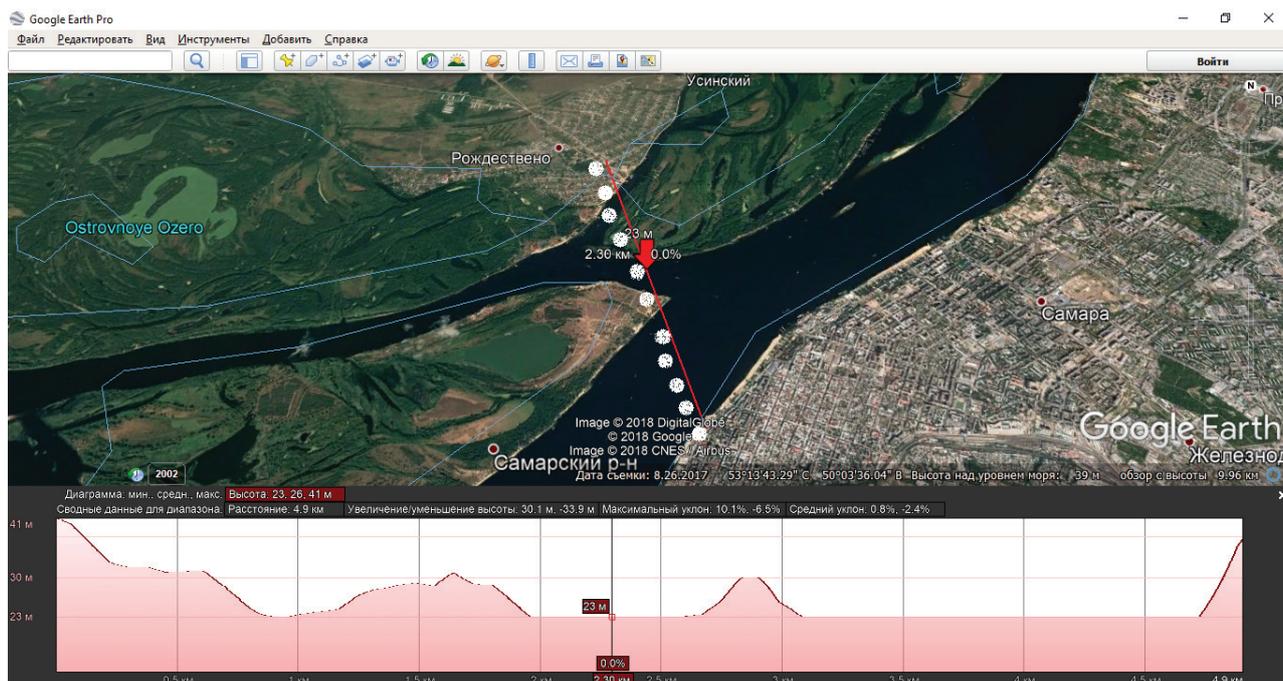


Рис. 6. Радиопролет п. Рождественно – г. Самара, гостиница «Россия», ул. Максима Горького, 82

возможность использования их кабельных линий. Если рассмотреть примерные затраты приняв стоимость одного километра равной 80000 рублям, то получится стоимость ВОЛС составит от 1 160 000 рублей в случае приведения в п. Крутые Ключи - «Кошелев Проект». В случае района «Южный город 2» стоимость работ будет начинаться от суммы 1 296 000 рублей. Замечу, что в эту сумму не вошли стоимости креплений, муфт, окончного активного оборудования. Абонентское обслуживание и плату за размещение оптического кабеля пока не принимаем во внимание.

При организации пролета на оборудовании миллиметрового диапазона цена будет варьировать от 300000 до 500000 рублей. Скорость передачи данных на уровне 3 Гбит/с. И это полностью готовое решение скорее всего даже с небольшим бесплатным периодом сервисной поддержки от производителя.

Еще более показательным примером является организация связи в городских и пригородных районах, разделенных естественными преградами. Как мне кажется это актуально для таких городов как Красноярск, Новосибирск, Москва, Санкт-Петербург, Самара и так далее.

Рассмотрим пример организации линий связи на примере г. Самара и ее удаленных территорий на другом берегу реки Волга. Спроектировали радиопролет п. Рождественно – г. Самара, гостиница «Россия», ул. Максима Горького, 82, как показано на рис. 6.

Трассы ВОЛС и РРЛ спроектированы таким образом, что их длины совпадают и составляют 4900 м. Согласно представленных ниже расчетов точки построения радиорелейной линии связи, находятся в прямой видимости.

По предварительной экономической оценке, основываясь на предварительной информации ОАО «Гипросвязь», стоимость строительства трассы ВОЛС под водой составит от 12 500 000,00 рублей, с учетом получения разрешительной документации, подготовку площадок ввода/вывода кабеля, прокладку специального кабеля под водой [14]. Стоимость радиорелейной линии связи, по предварительной оценке, компаний Siklu и NEC, составит от 180000,00 до 700000,00 рублей. Что в более чем 17,8 раз меньше затрат на реализацию решения с применением ВОЛС. И в 9 раз быстрее по срокам организации радиорелейной линии связи. Срок организации ВОЛС составит до 6-и месяцев включительно, срок организации РРЛ – 10–20 рабочих дней, через которые оператор может получать доход от введения объекта в коммерческую эксплуатацию.

### 3. Пути развития миллиметрового диапазона

До 2017 года можно было говорить о максимальной пропускной способности радио пролета «точка-точка» на уровне 6,4 Гбит/с на базе оборудования iPasolinkEX. Но уже в 2017 году оборудование компании NEC позволило протести-

ровать радио пролет на уровне 10 Гбит/с. 2 марта 2017 года компания АО «НЭК Нева Коммуникационные Системы» сообщила о совместном с ПАО «МТС» испытании радиорелейной станции iPASOLINK EX. Испытания проводились на северо-западе РФ на расстоянии между станциями от 3 до 8 км в сложных погодных условиях. *«Тестирование модели iPASOLINK EX продемонстрировало показатели работы и высокую скорость передачи в сложных погодных условиях. Мы убедились, что два пролета в 4,8 км между станциями обеспечивают пропускную способность 10 Гбит/с, а один пролет протяженностью 8,3 км – скорость 8,5 Гбит/с. Это позволит нам от трех до 20 раз повысить пропуск трафика по радиорелейным линиям на таких расстояниях. Таким образом, на удаленных базовых станциях мы сможем полностью задействовать потенциал оборудования 3G и 4G, а также создать задел для строительства сетей 5G.»* (Дмитрий Смирнов, технический директор филиала МТС в г. Санкт-Петербург) [15].

Также из открытых источников известно, что компании МТС и ООО «ДОК» (г. Санкт-Петербург) завершили испытания радиорелейной линии RRC-10G собственного производства на сети петербургского филиала ПАО «МТС». Оборудование RRC-10G предназначено для работы в E-диапазоне 71-76/81-86 ГГц и передачи данных на скорости 10 Гбит/с. Целью испытаний было получение сведений о технических возможностях RPL RRC-10G как одной из имеющихся на рынке новинок радиорелейного оборудования на скорости 10 Гбит/с. Радиорелейные линии с такой пропускной способностью становятся де-факто новым стандартом скорости для применения в опорных беспроводных каналах сетей стандарта LTE и 5G [16].

В прошлом году компания Verizon производила испытания этого диапазона в реальных условиях на сетях сотовой связи 5G. Результаты их удивили и довольно сильно обрадовали. В условиях городской застройки им удалось передать данные со скоростью в 1 Гбит/с на расстояние до 600 м. Изначально было понятно, что с переходом на сети нового поколения, базовые станции и ретрансляторы придется устанавливать значительно чаще, чем в существующих сетях, и расстояние в полкилометра является не столь обременительным для операторов. Раньше пессимистично-настроенные компании говорили о том, что при работе в миллиметровом диапазоне репитеры придется ставить чуть ли не

через каждые 100 м. Но время, как говорится, покажет. Возможно, что установка большого количества миниатюрных базовых станций может столкнуться с вопросами регулирования и станет «узким местом» при развертывании 5G-сетей [17].

Одно из основных направлений создания сверхвысокоскоростных (свыше 1 Гбит/с) беспроводных каналов связи и сетей передачи мультимедийной информации – переход от традиционного сантиметрового диапазона радиоволн к миллиметровому (60–100 ГГц). Этот переход уже характеризуют как новую инновационную волну, сопоставимую с появлением стандартов сотовой связи и систем Wi-Fi [18].

На сегодняшний день уже выпущено и проходит тестирование оборудование типа «Точка-многоточка» Siklu MultiHall. Поддерживает 2 Гб/с на 8 абонентских устройств. Примерная стоимость не называется, но скорее всего она будет скорректирована в меньшую сторону при выходе в коммерческую эксплуатацию. Так как одновременно с этим решением готовятся к выходу на рынок решения от компаний Ubiquity и Mikrotik. Ценовая стратегия этих двух компаний известна по ранее предлагаемым решениям.

На сегодняшний день в связи с высокой загруженностью спектра частот гражданского и совместного предназначения, становится очевидным использование диапазона E-band федеральными операторами связи большой четверки для предоставления голосовых услуг, мобильной передачи данных, видео.

Это и подтверждается ежегодно удваивающимся объемом передаваемой информацией по сетям федеральных операторов. Учитывая расстояния на которых работает оборудование миллиметрового диапазона, должна увеличиться частота объектов связи. Считаю, что количество объектов связи в условиях городской застройки в населенных пунктах свыше 1 000 000 человек, может удвоиться, даже с учетом модернизации объектов связи.

Также с учетом развития решений к 2020 году на рынок будут выведены операторские решения, работающие по топологии «точка-многоточка» на уровне 10 Гб от базового сектора. А это означает, что определенные потребители или группы потребителей уверено смогут получать скорости уровня Гбит/с.

Уже на сегодняшний день компания «ДОК» первой в России изготовила магистральные

радиорелейные станции на скорость 20 Гбит/с для инфраструктуры 4G+/5G, приложений ISP и телевидения Ultra HD TV. В решении применены два стандартных радиомоста PPC-10G 10 Гбит/с, объединенных в комплект 2+0 с помощью адаптера дуальной поляризации. Это позволило передавать двойной поток данных 20 Гбит/с при помощи одной антенны [19].

#### 4. Пути повышения частоты использования оборудования миллиметрового диапазона операторами связи

Бесплатный тестовый период от производителя или показательные региональные испытания в практически в каждом регионе России.

Снижение цены на оборудование дальностью до 6 км. Тем самым становится привлекательным для городских решений и доступным для принятых решений о дальнейшей эксплуатации при других задачах. Не забываем, что оборудование E-band носит уведомительный характер и не требует получения разрешений.

Лизинг оборудования, который сделает доступным работу с подобным оборудованием. И позволит операторам исходя из лизинговых ежемесячных платежей, спланировать объем абонентской платы и период окупаемости.

Рассрочка платежей, предоставляемая производителем оборудования или банковской структурой. Но выгоднее для операторов будет конечно рассрочка от производителя, но видимо при условии заключения длительных партнерских контрактов.

Вывод на рынок российскими производителями решений не более 2 Гбит/с с сбалансированной ценой и индивидуальным набором технических операторских опций.

Развитие пропускной способности как по направлению «точка-точка», так и «точка-многоточка».

Отсутствие на розничном рынке оборудования радиосвязи миллиметрового оборудования. Выпуск подобных решений только для операторов связи.

Выход на рынок азиатских производителей, который как показывает опыт других отраслей, приводит к снижению цены.

Данные предложения должны быть положены в основу маркетинговой стратегии российских производителей оборудования.

## Заключение

В заключении, отмечу, что в настоящее время проявляется повышенный интерес к ММВ, так как существует коммерческая потребность в использовании свободного ресурса радиочастотного спектра. К тому же постепенно разрабатываются новейшие устройства (усилители и пр.), которые позволят реализовать на практике сверхскоростные системы связи. И в ближайшее время ожидается активное развитие сверхвысокоскоростных беспроводных мобильных сетей. Данный сегмент рынка оценивается в десятки миллионов долларов. Прибыль значительно превышает затраты, что делает эту сферу экономически сверхприбыльной.

## Список литературы

1. Тихомиров А.В., Омелянчук Е.В., Кривошеев А.В. Особенности проектирования систем связи миллиметрового диапазона радиоволн // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 25. № 2(25). 14 с.
2. Барсков А.А. Беспроводной гигабит на магистрали // Журнал сетевых решений / LAN. 2012. № 10. С. 68–75.
3. Писарев Ю.С. Гигабитные радиорелейные станции диапазона 80 ГГц // Журнал сетевых решений / Телеком. 2012. № 3. С. 74–83.
4. Будущее миллиметровых волн. URL: [http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30991/1/ittisu\\_2015\\_11.pdf](http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30991/1/ittisu_2015_11.pdf) (дата обращения 06.07.2007)
5. Вишневецкий В.М., Фролов С.А., Шахнович И.В. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2011. № 1. С. 90–97.
6. Пи Ж., Хан Ф. Введение в широкополосные системы связи миллиметрового диапазона // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2012. № 3. 54 с.
7. Обзор способов повышения производительности радиорелейных линий связи / Е.В. Рогожников [и др.] // Вестник СибГУТИ. 2013. № 4. С. 3–11.
8. ALFOplus80 series. Product Leaflet. URL: [http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.1\\_leaflet.pdf](http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.1_leaflet.pdf) (дата обращения: 01.06.2017)
9. Технические характеристики PPLI ALFOplus 80 и ALFOplus 80 v1. URL: [https://www.rtk-tech.ru/d/883026/d/alfoplus80\\_texnicheskiye\\_kharakteristiki\\_rus\\_ver\\_2.0.pdf](https://www.rtk-tech.ru/d/883026/d/alfoplus80_texnicheskiye_kharakteristiki_rus_ver_2.0.pdf) (дата обращения: 06.07.2017)
10. Microwave Product Portfolio. URL: <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecomsystems/microwave-product-portfolio> (дата обращения: 06.07.2017)
11. Технические характеристики UltraLink. URL: [http://winncom.ru/wp/wpcontent/uploads/UltraLink-ds\\_rus\\_winncom.pdf](http://winncom.ru/wp/wpcontent/uploads/UltraLink-ds_rus_winncom.pdf) (дата обращения: 06.07.2017)

- 
12. Радиорелейные линии Е-диапазона. URL: <http://www.nateks.ru/publication/radioreleynye-linii-e-diapazona> (дата обращения: 06.07.2017)
13. iPasolink EX. Аппаратура пакетной радиосвязи на 71-76 / 81-86 ГГц. URL: [http://radio-2.ru/files/NEC/PasolinkEX\\_\(radio-2.ru\).pdf](http://radio-2.ru/files/NEC/PasolinkEX_(radio-2.ru).pdf) (дата обращения: 06.07.2017)
14. Подводные ВОЛС для связи континентов. URL: <http://www.gs7.ru/podvodny-e-vols-dlya-svyazi-kontinentov/> (дата обращения 06.07.2007)
15. NEC и МТС «разогнали» радиорелейную линию до 10 Гбит. URL: [http://www.cnews.ru/news/line/2017-03-02\\_nec\\_i\\_mts\\_razognali\\_radiorelejnuyu liniyu\\_do](http://www.cnews.ru/news/line/2017-03-02_nec_i_mts_razognali_radiorelejnuyu liniyu_do) (дата обращения 06.07.2007)
16. Радиомост PPC-10G испытан в сети МТС. URL: [http://dokltd.ru/News\\_Events/a20218](http://dokltd.ru/News_Events/a20218) (дата обращения 06.07.2007)
17. Чего ждать от 5G в 2018 году. URL: <https://nag.ru/articles/article/100509/chego-jdat-ot-5g-v-2018-godu.html> (дата обращения 06.07.2007)
18. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне новые горизонты скоростей. URL: [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/2/article\\_2864\\_467.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/2/article_2864_467.pdf) (дата обращения 06.07.2007)
19. В Петербурге создан радиомост на скорость 20 Гбит/с для 4G+/5G. URL: [http://dokltd.ru/news\\_events/a20215](http://dokltd.ru/news_events/a20215) (дата обращения 06.07.2007)
- 

## **Perspectives of the use and development of the equipment of the millimeter radio communication equipment by communication operators**

*D.S. Klyuev, S.A. Korshunov, S.V. Sitnikova, Yu.V. Sokolova, S.E. Platonov*

The article highlights advantages and examples of using millimeter-wave packet radio communication equipment for telecom operators. Specific features of propagation of radio waves of millimeter range in the atmosphere are indicated. The analysis of the world and Russian manufacturers of packet radio communication equipment of millimeter range is carried out. Their main advantages and disadvantages are noted. The article makes some recommendations on the use of models of equipment presented in the analysis. The prospects of development of packet radio communication equipment of millimeter range are described.

*Keywords:* packet radio communication, millimeter band, millimeter wave propagation features, operator network, analysis of models of packet radio communication equipment in millimeter range, prospects of using equipment by telecoms operators, decision of GKRCH of July 15, 2010 No. 10-07-04-1 / 10-07-04-02, E-band.

---