

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ПАКЕТНОЙ РАДИОСВЯЗИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА**

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

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

*E-mail: klyuevd@yandex.ru*

Приведен обзор функциональных возможностей современного оборудования пакетной радиосвязи миллиметрового (ММ) диапазона. Указаны особенности распространения ММ-радиоволн, отмечены роль типов модуляции, коэффициента усиления при использовании технологии XPIС. Проведен многофакторный анализ мировых и российских производителей оборудования пакетной радиосвязи, рассмотрены перспективы развития систем пакетной радиосвязи ММ-диапазона.

**Ключевые слова:** пакетная радиосвязь, миллиметровый диапазон длин волн E-band, особенности распространения, операторская сеть, адаптивная модуляция, технология XPIС, модели оборудования пакетной радиосвязи, радиооборудование производителей E-Link 1000Q (E-Band, США), EtherHaul-1200 (Siklu, Израиль), PPC-1000 (ДОК, Россия), iPasolink (NEC, Япония), Nateks Multilink-E-10G (Россия), FlexPort 80-3000 (BridgeWave, США), UltraLink F80 (Intracom-Telecom), ALFOplus80v1 (SIAE Microelektronica, Италия)

**Введение**

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, 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 шести месяцев до полутора лет, причем все это время построенные объекты нельзя ввести в коммерческую эксплуатацию, за исключением настройки оборудования и тестовых испытаний. В то же время потребности пакетной передачи данных по радиоканалам постоянно растут, и важную роль здесь начинают играть радиорелейные станции (PPC) миллиметрового (ММ) диапазона волн.

Во-первых, появилась технологическая возможность изготовления компонентов, работающих в ММ-диапазоне частот. Во-вторых, возрастающая нагрузка широко используемых микроволновых диапазонов (6-38 ГГц) подразумевала, что проектировщики должны начать рассматривать альтернативные диапазоны частот. Наконец, с достижением мегабитных и 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 широко используются системами радиодоступа для организации сверхвысокоскоростных (до нескольких Гбит/с) полнодуплексных линий связи различных сетевых топологий: от простейших «точка-точка» до сложных кольцевых структур [1-2].

**Особенности распространения  
радиоволн ММ-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 70-100 ГГц. Здесь вносимое атмосферой, точнее, содержащимся в ней молекулярным кислородом, ослабление сигнала на километр дальности составит не более 0,5 дБ, то есть 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 [3-4].

Ослабление радиоволн при дожде различной интенсивности. В зависимости от интенсивности дождя ослабление сигнала может колебаться от 1 дБ/км в случае измороси до 20 дБ/км при сильном ливне интенсивностью 50 мм/ч, который в центральной и европейской части России в июне-июле – явление довольно частое. Облегчает ситуацию то, что сильные ливни, как правило, носят кратковременный характер и имеют небольшую территориаль-

ную протяженность. Коэффициент ослабления в снегопадах с сухим снегом существенно меньше, чем в дожде. В итоге при сильном дожде на интервале длиной 4-5 км суммарное ослабление сигнала, получаемое из ослабления сигнала в поле свободного пространства, в атмосфере и дожде может достигать величин 180-190 дБ, тогда как для РРС-диапазонов до 13 ГГц расчетная величина ослабления сигнала на тех же 4-5 км не превышает 130 дБ. Успешная работа систем *E*-диапазона в условиях таких значительных ослаблений сигнала обеспечивается за счет нескольких факторов.

Первый фактор – это использование низкоскоростных и, как следствие, менее требовательных к уровню принимаемого сигнала типов модуляции BPSK и (или) QPSK (реже 16QAM-256QAM). Гигабитные скорости достигаются за счет того, что, с одной стороны, отведенная для рассматриваемых РРС суммарная полоса частот составляет 10 ГГц (5000 МГц в 70 ГГц и 5000 МГц в 80 ГГц), а с другой – максимальная ширина канала пока не оговаривается; и большинство производителей для приема и передачи используют полосы до 1000-1250 МГц в 70 и 80 ГГц. При этом дуплексный разнос  $T_x - R_x$  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 увеличивается на 24 дБ. Помимо высокого коэффициента усиления при малых габаритах антенны *E*-диапазона формируют очень узкую диаграмму направленности, ширина главного лепестка которой составляет менее 1°. Поэтому при антенне 60 см на расстоянии 4 км получается пятно засветки диаметром порядка 35 м.

Для установки аналогичной системы, работающей в том же направлении на объекте, к примеру на крыше здания, во избежание взаимных помех достаточно разнести их на 20-25 м. Беспроводные системы *E*-диапазона комплектуются антеннами 30 см или 60 см с усилением 45 дБ и 52 дБ. Благодаря свойству волн частотного диапазона 70-90 ГГц, заключающемуся в том, что при длине волны 3-4 мм они практически не могут эффективно отражаться в условиях городской застройки, возможность возникновения многолучевого распростране-

ния 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. Одним из наиболее распространенных способов является изменение типа модуляции и скорости кодирования [3-4]. Главные задачи адаптивной модуляции и кодирования – это компенсация нестабильности радиоканала и точная подстройка параметров передачи. Для этого существуют различные методы и средства, улучшающие адаптацию радиоканала, как, например, автоматическая регулировка мощности, адаптивные антенны, динамическое кодирование, размещение каналов и т.д. Адаптивная модуляция (AMR), которая позволяет оборудованию динамически менять тип модуляции и переходить от модуляции высшего порядка к более помехоустойчивой модуляции низких порядков, происходит без генерации дополнительных ошибок и прерывания трафика. Адаптивное кодирование заключается в увеличении избыточности, то есть числа проверочных символов на единицу передаваемой информации, что, в свою очередь, снижает полезную скорость, но увеличивает помехоустойчивость.

Эти меры приводят к уменьшению пропускной способности, но помогают избежать полного пропадания связи. AMR представляет собой технологию улучшения помехоустойчивости, главным образом в оборудовании пакетной передачи за счет использования термальной пороговой разницы между элементами иерархии по модуляции, такими как QPSK, 256QAM и т.д. Например, при сильном дожде, вызывающем снижение уровня приема в высокочастотных диапазонах, AMR автоматически обеспечивает доступность сети и выполняет «ошибкозащищенный» (далее без кавычек) выбор при модуляции с более низким порогом.

При IP пакетной передаче, то есть в случае неиерархической передачи, помехозащищенность является более важным фактором, чем даже значительное уменьшение пропускной способности. При гибридной передаче, тем не менее, рекомендуется удерживать ту же самую пропускную способность даже при

ухудшении условий приема. Установка приоритетов между Ethernet-портами и на основе VPN является наиболее важным для поддержания качества сервиса самого высокого уровня. Разработка наиболее реалистичных и надежных функций AMR, а также оснащение семейства как у iPASOLINK платформ, поддерживающих возможность установки QoS параметров при работе AMR, выполнены на основе обширного опыта NEC в области распространения сантиметровых и ММ-радиоволн [12].

Крайне важным является обработка приоритетов передачи трафика QoS, которая реализована практически во всех системах. Так, например, при передаче разнородного трафика (голос, видео, данные) при падении скорости в случае адаптивной модуляции наибольший приоритет может отдаваться голосу, а наименьший – загрузке данных, например из Internet. К основным областям применения данного оборудования можно отнести построение беспроводных линий через наземные препятствия, такие как крупные автомагистрали, железнодорожные станции и пути, территории, имеющие историческую и культурную ценность, промышленные предприятия (в том числе закрытые) и водные преграды, к примеру реки, озера, болота и пр.

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 [6]. Это является актуальной задачей для операторов фиксированной и мобильной связи, а также Internet-провайдеров. Кроме того, при построении оптических колец, системы *E*-диапазона могут использоваться как вставки в такое кольцо для прохождения сложных участков. При неоспоримом достоинстве в сверхвысокой пропускной способности системы *E*-диапазона по сравнению с традиционными РРС имеют ограничения по расстоянию. К примеру, при коэффициенте готовности линии 99,995% в зависимости от типа оборудования для европейской части территории Российской Федерации 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 его высокой пропускной способностью и простотой юридического оформления радиоканала. Они представляют собой недорогую альтернативу ВОЛС, быстро развертываются и не требуют 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 выбора оборудования в данной работе проведен анализ представленных на рынке моделей.

### **Анализ оборудования пакетной радиосвязи ММ-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) [2; 7-12]. На территории России могут быть использованы РРС *E*-диапазона, основные технические характеристики которых представлены в таблице 1.

Из таблицы видно, что максимальная ширина канала представлена у моделей FlexPort 80-3000, MINI-LINK PT 6010, РРС-1000 и E-Link 1000Q. Но данный показатель теряет свою привлекательность при сравнении модуляции данных моделей. Использование QPSK Ericsson, ДОК, E-Band Communications, NEC, Nateks вместо BPSK Bridge Wave не приводит к потерям, но позволяет вдвое повысить спектральную эффективность за счет сужения полосы в два раза. И, как видно из таблицы 1, данные модели и дополнительно ALFOplus80 v1 обладают наиболее высокой пропускной способностью, но уступают по этому показателю iPasolinkEX. К NEC приближен образец компании Nateks, который способен в спектральных полосах 500 и 750 МГц расширяться до 3000 Мбит/сек. iPasolinkEX может работать на опорных модуляциях от QPSK до 256 QAM при ширине канала до 500 МГц. Это позволяет обеспечить высокую пропускную способность канала.

Компактность оборудования позволяет осуществлять быстрый монтаж, легкую эксплуатацию и снизить операционные затраты в части арендной платы за размещение. Хотя надо отметить, что наиболее широко представлены размерность у производителей Intracom-Telecom, ДОК, Nateks. Здесь стоит отметить, что все производители выпускают решения с резервированием. Например, BridgeWave предлагает решение FlexPort 80-3000, которое представляет собой систему с конфигурацией 1+1 или 2+0, построенную на базе продукта FlexPort 80. Напомним, что схема 1+1 предполагает, что к одной антенне через СВЧ-мост подсоединяются два внешних блока (ODU) — один активный, второй резервный. В системах 2+0 два блока ODU также через СВЧ-мост подсоединяются к одной антенне и работают параллельно на разных частотах, за счет чего передаваемые ими потоки можно различить на приемной стороне. Для создания двух каналов передачи данных на одной частоте можно использовать технологию ХРПС.

В этом случае данные передаются на двух поляризациях: вертикальной и горизонталь-

ной, для чего необходима соответствующая антенна с ОМТ-блоком. Адаптивно связанная цепь между двумя радиостволами с ортогональной поляризацией на совпадающих частотах или двумя соседними радиостволами с чередующейся поляризацией на одной и той же линии, которая используется для уменьшения кросс-поляризационной помехи.

Данная функция позволяет удвоить эффективность использования радиочастотного спектра посредством удвоения пропускной способности частотного канала. Соответственно, при такой технологии удваивается скорость передачи данных без расширения полосы сигнала – за счет создания передатчиком двух потоков, работающих в одной полосе, но на ортогональных поляризациях (вертикальной и горизонтальной). При прохождении сигнала через канал распространения происходит деполяризация сигнала, в результате чего нарушается ортогональность, что приводит к необходимости дополнения системы связи устройствами поляризационной компенсации.

Таблица 1. Технические характеристики PPC E-диапазона, полностью удовлетворяющие требованиям решения ГКРЧ от 15.07. 2010 № 10-07-04-1/ 10-07-04-02 (начало)

Производитель	Bridge Wave	Ericsson	Siklu	ДОК	NEC
Модель	FlexPort 80-3000	MINI-LINK PT 6010	EtherHaul 1200	PPC-1000	iPasolink EX
Диапазон, ГГц	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
Максимальная задержка, мкс	65	65	350	50	–
Модуляция	BPSK/QPSK	QPSK	QPSK/16/64QAM	QPSK	QPSK/256QAM
Пропускная способность, Мбит/с	2×1200	2×1000	365	2×1000	2×3200
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
Дальность действия, км	5-6	2	3	10	4
Разделение по частоте/времени	Full duplex	Full duplex	TDD	Full duplex	Full duplex
Габариты антенн, см	30,60	30,60	30,60	30, 45, 60, 90	30,60
Рабочая температура, С <sup>0</sup>	–33°; +55°С	–33°; +55°С	–45°; +55°С	–50°; 60°С	–45°; +55°С



Таблица 1 (окончание)

Производитель	NATEKS	E-Band	Intracom-Telecom	SIAE Microelectronica
Модель	MULTILINK-E-10G	E-Link 1000Q	UltraLink F80	ALFOPlus80 v1
Диапазон, ГГц	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86	71-76/81-86
Максимальная ширина канала, МГц	250, 500 и 750	2×1000	125 – 500	250 – 500
Максимальная задержка, мкс	< 50 мкс	5		5
Модуляция	QPSK, 8PSK, 16/32/64 QAM	QPSK	16/64QAM/ QPSK	4/16/64 QAM
Пропускная способность, Мбит/с	83 – 3000	2×1250	1000	2500
Конфигурации	1+1	1+0,1+1, 2+0	1+0,1+1, 2+0	1+0, 1+1, 2× (1+0)
Дальность действия, км	16	5	2,5	6
Разделение по частоте/времени	Частотный дуплекс	Full duplex	FDD, TDD	Full duplex
Габариты антенн, см	6×8 см и 26×12 см (диаметр × высота)	30, 60	26, 31, 65	20, 30, 60
Рабочая температура	-50°; +60°C	-45°C; +60°C	-45°; 55°C	-40°; +55°C

Технология XPIС позволяет скомпенсировать негативное влияние «соседнего» сигнала и увеличить уровень развязки сигналов в приемнике [6]. В передающей части системы формируется два потока данных, производится перенос обоих потоков на несущую частоту, после чего сигналы поступают в антенну, один с горизонтальной, другой с вертикальной поляризацией. Пройдя через канал распространения, сигналы принимаются приемной антенной. Разделение сигналов производится по поляризационному признаку, однако при передаче через канал связи происходит деполяризация сигналов, таким образом, в каждом приемном тракте оказываются сигналы обеих поляризаций.

По пилот-сигналам производится оценка мощности «сигнала-помехи» (сигнала соседней поляризации) и формируются весовые коэффициенты фильтров. На выходе фильтров формируются компенсирующие сигналы, которые складываются с принятыми сигналами для подавления «сигнала-помехи». При изменении уровня кросс-поляризационной помехи производится адаптация фильтров для максимального уровня развязки. В самом простом

выполнении суть применения процедуры XPIС состоит в том, что по контрольным сигналам, подаваемым последовательно на каждой из ортогональных поляризаций, сначала измеряются уровни «прохождения» сигналов из канала соседней поляризации.

В предположении, что измеренные коэффициенты кросс-поляризационной связи не изменяются слишком динамично, полученные коэффициенты используются на этапе приема информационных сообщений для вычитания кросс-поляризационных помех из полезных сигналов. Основным фактором деградации уровней принимаемых сигналов в случае двойной поляризации излучения, как известно, являются атмосферные осадки. Однако при использовании XPIС в сочетании с методами поляризационного кодирования в определенной мере можно снизить негативные эффекты рассеяния сигналов.

На сегодняшний день технология XPIС применяется ведущими производителями радиорелейного оборудования. Для основной массы РРС E-диапазона выпускают антенны двух диаметров: 30 см и 60 см. Компания ДОК предлагает дополнительно модификации с антеннами

45 см и 90 см. Хотя надо отметить, что наиболее широко представлены размерность у производителей Intracom-Telecom и ДОК. Нетиповые размеры представлены у компаний SIAE Microelectronica и Nateks. ДОК и Nateks – это единственные производители, которые заявляют дальность расстояния порядка 10 км и 16 км соответственно.

Все PPC, за исключением EtherHaul-1200 производства Siklu и UltraLink F80 от Intracom-Telecom, работают в режиме FDD и обеспечивают двустороннюю передачу гигабитного потока Ethernet. В итоге при невысоких требованиях к пропускной способности можно выбрать PPC EtherHaul-1200 производства Siklu и UltraLink F80 производства Intracom-Telecom.

Наилучшими энергетическими показателями обладает PPC E-link-1000Q компании E-Band (системное усиление 192 дБ), она же работает в самом широком температурном диапазоне от –45 до +60°С. Большее системное усиление: 195 дБ заявлено только у PPC-1000 производства ДОК, но при этом используются антенны 90 см, а не 60 см. При выборе следует также учитывать отлаженность технологии и объем необходимых ручных операций при настройке оборудования. Большой практический интерес вызывает оборудование, опережающее все вышеуказанные модели, Nateks MULTILINK-E-10G за счет дальности расстояния и уступающее компании NEC по пропускной способности. Но самыми выдающимися, на наш взгляд, показателями обладает оборудование iPasolinkEX:

- пропускная способность до 3,2 Гбит/с, в режиме радиоагрегации (нужно два iPasolinkEX) до 6,4 Гбит/с;
- большой набор схем модуляции (от QPSK до 256QAM) с адаптивным функционированием (R1.5/R2.0: от QPSK до 256QAM);
- ширина канала до 500 МГц;
- поддержка адаптивной модуляции AMR;
- поддержка технологии XPIС;
- поддержка VLAN по протоколам 802.1q и 802.1ad;
- широкий функционал QoS;
- защита от «петель» с помощью протокола MSTP;
- синхронизация с помощью Synchronous Ethernet и протокола IEEE 1588v2;
- поддержка множественных портов GbE/FE: до 3 ед.;
- сменные антенны разного диаметра без необходимости повторного ориентирования;

- синтезированные каналы RF для простоты использования;
- доступны методы сжатия заголовков L1/L2/L3/L4;
- эффективное сетевое планирование через соединение GbE высокой пропускной способности;
- надежность операторского класса вплоть до 99,999%;
- высокозащищенная антенна с узконаправленным лучом;
- коды LINK ID, устанавливаемые пользователем;
- средства управления паролями множественного уровня на M-плоскости;
- регулируемая скорость передачи данных для звеньев сети разной длины на одном и том же оборудовании;
- широкий диапазон входных напряжений в сети;
- низкий уровень энергопотребления;
- возможность питания через PoE;
- синхронизация по SyncE;
- функция локального и дистанционного наблюдения за оборудованием с помощью встроенного Web (HTML) административного агента или опции управления по протоколу HTTPS с защищенным доступом;
- дистанционное наблюдение за условиями работы оборудования с помощью Web административного агента;
- средства защиты от «закольцовывания» порта GbE/FE [12].

### Заключение

Проведенный анализ оборудования показывает, что под каждую задачу можно подобрать оптимальное решение по цене и техническим параметрам. Необходимо отметить российские разработки компаний Nateks и ДОК, которые уступают только NEC по показателю пропускной способности.

### Литература

1. Барсков А. А. Беспроводной гигабит на магистрали // Журнал сетевых решений LAN. №10, 2012. – С. 68-75.
2. Писарев Ю.С. Гигабитные радиорелейные станции диапазона 80 ГГц // Журнал сетевых решений Телеком. №3, 2012. – С. 74-83.
3. Вишневский В. М., Фролов С.А., Шахнович И.В. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты ско-

- ростей // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. №1, 2011. – С. 90-97.
4. Жоюю Пи, Фарук Хан. Введение в широкополосные системы связи миллиметрового диапазона // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. №3, 2012. – 54 с.
  5. Roger L. Freeman Radio System Design for Telecommunications Third Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 911 p.
  6. Рогожников Е.В., Ворошилин Е.П., Колдамов А.С., Гельцер А.А. Обзор способов повышения производительности радиорелейных линий связи // Вестник СибГУТИ. №4, 2013. – С. 3-11.
  7. ALFOplus80 Series. Product Leaflet // URL: [http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.l\\_leaflet.pdf](http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.l_leaflet.pdf) (д.о. 01.06.2017).
  8. Технические характеристики РРЛ 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) (д.о. 6.07.2017).
  9. Microwave Product Portfolio // URL: <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecomsystems/microwave-product-portfolio> (д.о. 6.07.2017).
  10. Технические характеристики UltraLink // [http://winncom.ru/wp/wp-content/uploads/UltraLinks\\_rus\\_winncom.pdf](http://winncom.ru/wp/wp-content/uploads/UltraLinks_rus_winncom.pdf) (д.о. 6.07.2017).
  11. Радиорелейные линии Е-диапазона // URL: <http://www.nateks.ru/publication/radioreleynye-linii-e-diapazona> (д.о. 6.07.2017).
  12. 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) (д.о. 06.07.2017)

*Получено 10.07. 2017*

**Клюев Дмитрий Сергеевич**, д.ф.-м.н., доцент, заведующий Кафедрой электродинамики и антенн (ЭиА) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел.: +7-927-749-16-52; E-mail: [klyuevd@yandex.ru](mailto:klyuevd@yandex.ru)

**Коршунов Сергей Александрович**, магистрант кафедры ЭиА ПГУТИ. Тел.: +7-939-752-77-44; E-mail: [sergei\\_korshunov@mail.ru](mailto:sergei_korshunov@mail.ru)

**Соколова Юлия Владимировна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭиА ПГУТИ. Тел.: +7-846-332-58-53; E-mail: [ula.81.81@mail.ru](mailto:ula.81.81@mail.ru)

**Ситникова Светлана Васильевна**, к.т.н., доцент кафедры ЭиА ПГУТИ. Тел.: +7-846-332-58-53; E-mail: [sitnikovasv@mail.ru](mailto:sitnikovasv@mail.ru)

**Платонов Сергей Евгеньевич**, магистрант кафедры ЭиА ПГУТИ. Тел.: +7-917-102-66-99. E-mail: [platonovse@mail.ru](mailto:platonovse@mail.ru)

## FUNCTIONAL CAPABILITIES OF MODERN EQUIPMENT FOR PACKET MILLIMETER-WAVE RADIO COMMUNICATIONS

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

*Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: klyuevd@yandex.ru*

The article gives an overview of the functional capabilities of modern equipment for packet radio communications of the millimeter band. Practical usage examples of the equipment in the conditions of urban environment are presented. Advantages of using this equipment for telecom operators are given. Specific features of millimeter radio waves propagation in the atmosphere and the influence of precipitation, such as rain and snow, on the signal propagation range are indicated. The specifics of the radio channel capacity dependence on the signal bandwidth are indicated. The role of modulation type and gain factor in successful use of XPIC technology with the equipment studied is described. A multifactor analysis of the world and Russian manufacturers of packet radio communications equipment of the millimeter band was carried out. As a result of the analysis, the following characteristics were compared: maximum channel width, maximum signal propagation delay, modulation types used, equipment throughput, range and overall dimensions of the antennas. The main advantages and disadvantages are noted. The article makes some recommendations on the use of equipment models presented in the analysis. In this paper, we have analyzed a number of sources over the past five years. The legislative basis for the use of this

equipment on the territory of the Russian Federation is indicated. The prospects of development of packet radio communication systems of millimeter band are described.

**Keywords:** packet radio communication, millimetric range, E-band, features of radio propagation, operator network, adaptive modulation, XPIC technology, millimetric range packet radio communications equipment analysis, E-Link 1000Q (E-Band, USA); EtherHaul-1200 (Siklu, Israel); RRS-1000 (DOCK, Russia); iPasolink EX (NEC, Japan), Nateks Multilink-E- 10G (Russia), FlexPort 80-3000 (BridgeWave, USA), UltraLink F80 (Intracom-Telecom), ALFOplus80v1 (SIAE Microelettronica, Italy)

**DOI:** 10.18469/ikt.2017.15.4.12

**Klyuev Dmitriy Sergeevich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; the Head of Department of Electrodynamics and Antennas, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. Tel.: +78463391121; E-mail: klyuevd@yandex.ru.

**Korshunov Sergey Aleksandrovich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; master's student of the Department of Electrodynamics and Antennas. Tel.: +79397527744. E-mail: sergei\_korshunov@mail.ru.

**Sitnikova Svetlana Vasilyevna**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Electrodynamics and Antennas; PhD in Technical Science. Tel.: +78463325853. E-mail: sitnikovasv@mail.ru.

**Sokolova Yuliya Vladimirovna**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Electrodynamics and Antennas; PhD in Physical and Mathematical Sciences. Tel.: +78463325853. E-mail: ula.81.81@mail.ru.

**Platonov Sergey Evgenyevich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara, 443010, Russian Federation; master's student of the Department of Electrodynamics and Antennas. Tel.: +79171026699. E-mail: platonovse@mail.ru .

## References

1. Barskov A.A. Besprovodnoy gigabit na magistrali [Wireless gigabit on the transport communication network]. *Zhurnal setevykh resheni, LAN*, 2012, no. 10, pp. 68-75.
2. Pisarev Yu.S. Gigabitniye radioreleyniye stantsii diapazona 80 GHz [Gigabit radio-relay stations of the 80 GHz band]. *Zhurnal setevykh resheniy, Telekom*, 2012, no. 3, pp. 74-83.
3. Vishnevskiy V.M., Frolov S.A., Shahnoviya I.V. Radioreleyniye linii svyazi v millimetrovom diapazone: noviye gorizonty skorostey [Radio-relay communication lines in the millimeter range: new velocity horizons]. *Elektronika: Nauka, Tehnologiya, Bizness*, 2011, no. 1, pp. 90-97.
4. Zhouyue Pi, Farooq Khan Vvedenie v shirikopolosniye sistemy svyazi millimetrovogo diapazona [Introduction to wideband millimeter band communication systems]. *Elektronika: Nauka, Tehnologiya, Bizness*, 2012, no. 3. pp. 86-94.
5. Roger L. *Freeman Radio System Design for Telecommunications Third Edition*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2007, 911 p.
6. Rogozhnikov E.V., Voroshilin E.P., Koldamov A.S., Geltser A.A. Obzor sposobov povysheniya proizvoditelnosti radioreleynykh liniy svyazi [Review of ways to improve the performance of radio-relay communication lines]. *Vestnik SibGUTI*, 2013, no. 4, pp. 3-11.
7. ALFOplus80 series. Product Leaflet. Available at: [http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.l\\_leaflet.pdf](http://www.dateline.ru/resources/SIAE/siaemic-ALFOplus80.l_leaflet.pdf) (accessed 1.06.2017)
8. Technical characteristics of the radio relay line ALFOPlus 80 and ALFOPlus 80 v1. Available at: [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). (accessed 6.07.2017) (in Russ.)
9. Microwave Product Portfolio. Available at: <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecomsystems/microwave-product-portfolio>. (accessed 6.07.2017)



10. Technical characteristics of UltraLink. Available at: [http://winncom.ru/wp/wp-content/uploads/UltraLinks\\_rus\\_winncom.pdf](http://winncom.ru/wp/wp-content/uploads/UltraLinks_rus_winncom.pdf) (accessed 6.07.2017) (in Russ.)
11. E-band radio-relay lines. Available at: <http://www.nateks.ru/publication/radioreleynye-linii-e-diapazona>. (accessed 6.07.2017) (in Russ.)
12. iPasolink EX. Equipment of the package radio communication by 71-76/ 81-86 GHz. Available at: [http://radio-2.ru/files/NEC/PasolinkEX\\_\(radio-2.ru\).pdf](http://radio-2.ru/files/NEC/PasolinkEX_(radio-2.ru).pdf). (accessed 6.07.2017) (in Russ.)

*Received 07.07.2017*

УДК 621.391.8

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КООПЕРАТИВНОЙ АНАЛОГОВОЙ РЕТРАНСЛЯЦИИ В СЕТИ VANET

*Елисеев С.Н., Шантуров Е.М.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

*E-mail: eliseev-sn@psuti.ru*

В статье рассматриваются проблемы помехоустойчивости сети беспроводной связи при передаче сигналов между высокоскоростными подвижными объектами. В качестве метода решения обозначенных проблем предлагается кооперативное разнесение при аналоговой ретрансляции с двумя подвижными объектами. Для рассмотрения и анализа характеристик аналоговой ретрансляции используется обобщенная схема мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов с разнесенным приемом по методу комбинирования максимального отношения. Оценивается помехоустойчивость по средней величине символьной вероятности ошибок, определяемой при достаточно больших значениях отношения сигнала к шуму, дается оценка мощности межканальных переходных помех, вызванных доплеровским рассеянием. Показана эффективность применения аналоговой ретрансляции между подвижными объектами.

**Ключевые слова:** кооперативное разнесение, аналоговая (AF) ретрансляция, замирения Релея, доплеровский спектр рассеяния, символьная вероятность ошибки

### Введение

В последнее время среди сетей связи с подвижными объектами (ССПО) активно развивается направление интеллектуальных транспортных систем (ITS), обеспечивающих многоцелевую поддержку участников движения по безопасности, информированности и т.д. Ключевой элемент ITS – это VANET (ad-hoc, то есть децентрализованная сеть ПО – подвижных объектов), гибридная беспроводная сеть, в которой ПО связываются друг с другом многоскачковым ad-hoc образом (V2V). Кроме того, ПО могут получать навигационную и другую информацию, доступ в интернет, связываясь с объектами придорожной инфраструктуры (V2I), такими как базовые станции или точки доступа [1-3]. Широкое распространение в таких условиях должно получить кооперативное разнесение, являющееся формой пространственного разнесения, которое достигается кооперацией между ПО сети [4–6]. В основу практически всех модификаций сетей подобных VANET, так же, как и множества других ССПО, положена технология OFDM (стандарт IEEE 802.11p), подверженная в условиях высоких скоростей движения ПО влиянию межканальных переходных помех (МКП).

МКП возникают между отдельными субканалами OFDM поднесущих из-за проявления эффекта доплеровского рассеяния и вызываемого им нарушения взаимной ортогональности поднесущих [7-8]. В статье рассмотрено влияние МКП на помехоустойчивость OFDM системы с кооперативным разнесением при аналоговой (AF) ретрансляции с участием двух ПО. Замирения низкочастотных эквивалентов огибающих отдельных поднесущих обладают релеевской статистикой. Модель доплеровского рассеяния соответствует изотропному рассеянию Кларка [1].

### Анализ помехоустойчивости кооперативной AF-ретрансляции в канале с медленными замирениями

Для рассмотрения и анализа характеристик AF-ретрансляции используем обобщенную схему OFDM системы с разнесенным приемом по методу комбинирования максимального отношения (КМО) (см. рис. 1), по которой получатель сообщения (П) принимает две независимые копии передаваемого сигнала источника (И):

$$y_{П1} = \mu x + n_{П1}, \quad y_{П2} = \beta A(\alpha x + n_1) + n_2. \quad (1)$$