

# Расчет трассы цифровой радиорелейной связи

В статье рассмотрены проблемы расчета трассы при цифровизации старой радиорелейной линии РРЛ-22, а именно замена аналогового оборудования ТРН-250 технологической связи газопровода Ямбург — Западная граница в цифровой радиорелейной системе связи (ЦРРС) «Протон-ССС» W6000. В настоящее время проводится активная реконструкция эксплуатируемых аналоговых узлов радиосвязи, сооруженных во время Советского Союза, и устанавливаются более технологичные цифровые радиорелейные станции (ПРС). К основным преимуществам ЦРРС относятся увеличенная скорость передачи информации и помехозащищенность. Также современное оборудование позволяет передавать сигнал с требуемой надежностью и качеством. В ходе анализа изменения можно определить, насколько применимы характеристики пролета — например, такие как зона Френеля между опорами при модернизации оборудования. Реконструкция позволит эффективнее использовать электромагнитный частотный диапазон радиоволн, увеличить дальность приема-передачи, сократить энергопотребление оборудования, а также повысить качество и надежность работы. В результате мы придем к современной системе, основанной на цифровизации связи.

Григорий Охоткин, д. т. н.  
elius@list.ru

Дмитрий Игнатьев  
dimaignatev1997@mail.ru

## Введение

РРЛ-22 — аналоговая радиорелейная линия связи вдоль газопровода Ямбург — Западная граница с отводами на КС.

Из истории сооружения корпоративной радиосвязи РРЛ газопровода Ямбург — Западная граница видно, что эксплуатируемое более 30 лет аналоговое оборудование Tomson TRN-250 страшно устарело морально и физически, а ремонт и покупка запасных импортных частей практически невозможны. Из-за продолжительной эксплуатации и старения радиоэлементов значительно ухудшились

технические характеристики применяемой аппаратуры, что приводит к снижению показателей надежности технологической связи. Ориентируясь на современные технологии, мы видим в применении цифрового радиорелейного оборудования гораздо более широкие возможности. Так, основными преимуществами цифрового сигнала перед аналоговым являются:

- более высокий уровень защиты;
- безопасность передачи цифрового сигнала основана на том, что «цифра» передается в зашифрованном виде;
- цифровая передача данных способна обеспечить огромное количество каналов с минимальным уровнем шума (помех), качество передачи находится на несколько порядков выше, чем при аналоговом вещании;
- цифровой сигнал обеспечивает фильтрацию принимаемых данных, а также имеется возможность восстанавливать исходную информацию.

Методика расчета пролета регламентируется в ГОСТ Р 53363-2009 «Цифровые радиорелейные линии». На ее основе происходит анализ общих показателей качества и стандартизация. В виде показателя качества системы связи рассматривают исключительно цифровую передачу сигнала со скоростью соединения 64 кбит/с.

Сутью своей работы мы считаем замену аналогового оборудования на ЦРРС «Протон-ССС» W6000, с сохранением существующих опор. Рассмотрим процесс на примере трассы ПРС56–57, изображенной на рис. 1.

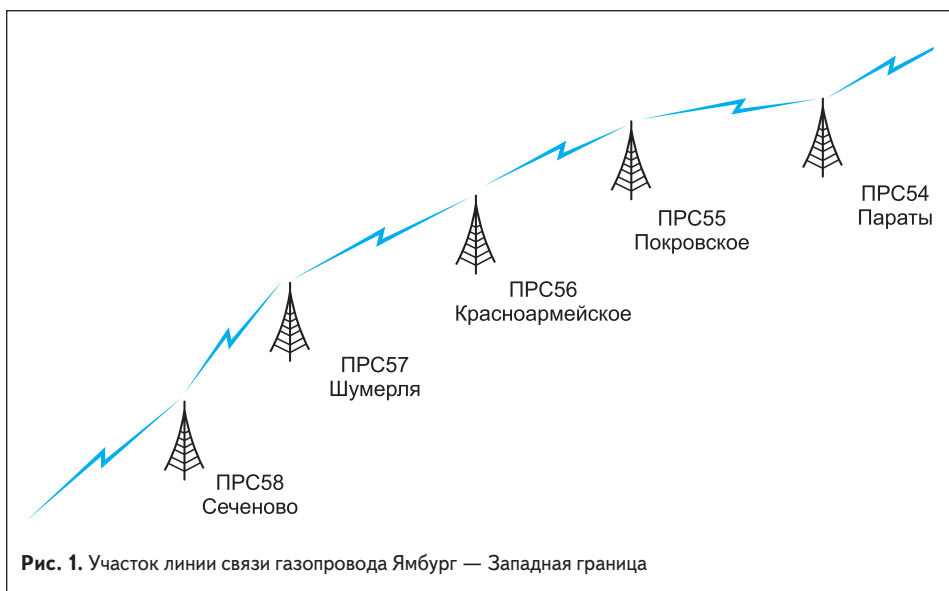


Рис. 1. Участок линии связи газопровода Ямбург — Западная граница

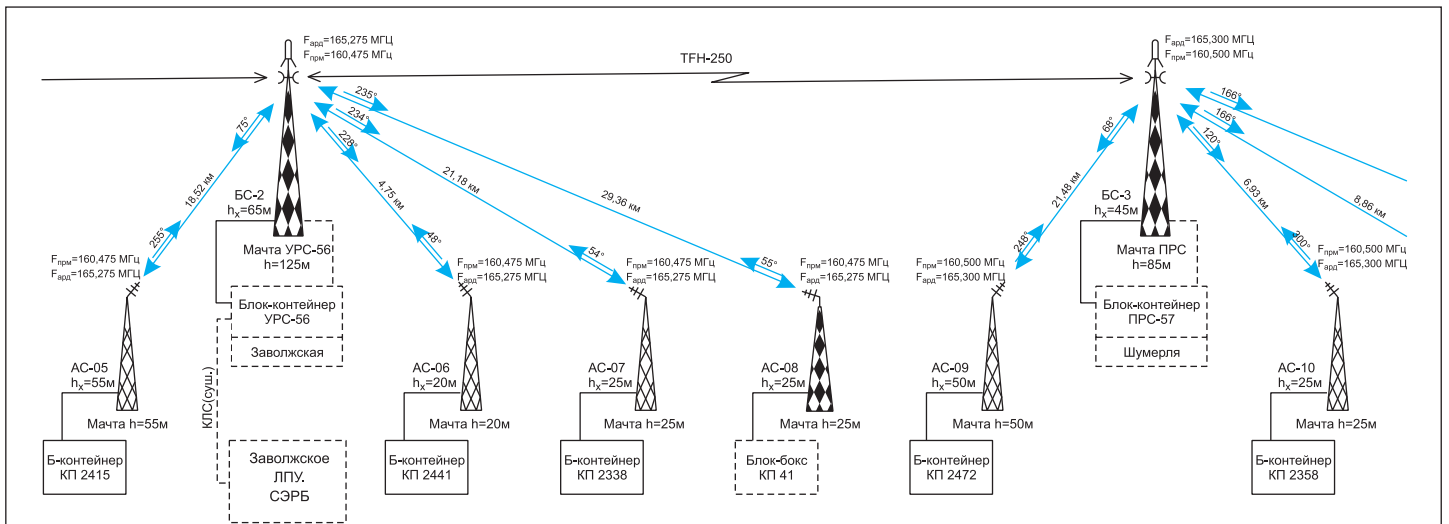


Рис. 2. Схема реализации радиорелейной связи между ПРС56–57

$f_H := 7.9$	нижняя рабочая частота, ГГц
$f_B := 8.4$	верхняя рабочая частота, ГГц
$\lambda_B := \frac{3 \cdot 10^8}{f_B \cdot 10^9}$	длина волны для верхней рабочей частоты, м $\lambda_B = 0.036$
$r_0 := 54$	длина пролёта, км
$h_{0Красноарм} := 150$	Нулевой относительный уровень в Красноармейске, м
$h_{0Шумерля} := 170$	Нулевой относительный уровень в Шумерле, м
$H_{п\_осн\_Красноарм} := 125$	Высота подвеса основной антенны в Красноармейске, м
$H_{п\_осн\_Шумерля} := 87$	Высота подвеса основной антенны в Шумерле, м
$n := 1$	- номер интерференционного минимума
$b := \frac{4}{3}$	- коэффициент кривизны Земли
Коэффициент кривизны Земли	
$L_1 := 0, 1 \dots r_0$	$L_2(L_1) := r_0 - L_1$ $M(L_1) := -L_1 \cdot \frac{L_2(L_1)}{13.35 \cdot b}$ профиль в прямоугольной системе координат
$h_0 := 170 - M(0)$	$h_{перен} := h_0$ $h_{рес} := 15$ м

Рис. 3. Скриншот программы при расчете трассы для ЦРРС «Протон-ССС» W6000 на участке ПРС56–57, часть 1

$k := 0, 1 \dots 54$	- число отсчётов
$H_{АБС\_осн\_Красноарм} := h_{0Красноарм} + H_{п\_осн\_Красноарм}$	Абсолютная высота подвеса основной антенны в Красноармейске
$H_{АБС\_осн\_Красноарм} = 275$	м
$H_{АБС\_осн\_Шумерля} := h_{0Шумерля} + H_{п\_осн\_Шумерля}$	Абсолютная высота подвеса основной антенны в Шумерле
$H_{АБС\_осн\_Шумерля} = 257$	м
$\alpha := \frac{H_{п\_осн\_Красноарм} - H_{п\_осн\_Шумерля}}{r_0}$	Угол наклона линии прямой видимости между основными антеннами
$\alpha = 0.704$	
$S(L_1) := -\alpha \cdot L_1 + H_{АБС\_осн\_Красноарм}$	График линии прямой видимости между основными антеннами
$F1(L_1) := 10 \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot (r_0 - L_1)}{f_H \cdot r_0}}$	Кривая эллипса первой зоны Френеля
$F_{осн\_н}(L_1) := S(L_1) - F1(L_1)$	Эллипсоид первой зоны Френеля для основных антенн
$F_{осн\_в}(L_1) := S(L_1) + F1(L_1)$	
$M(L_1) := \frac{L_1 \cdot L_2(L_1)}{13.35 \cdot b}$	график уровня моря

Рис. 4. Скриншот программы при расчете трассы для ЦРРС «Протон-ССС» W6000 на участке ПРС56–57, часть 2

### Результаты исследований

С технической точки зрения необходимо установить комплект ЦРРС на трассе от ПРС54 до ПРС58, с дальнейшим согласованием их по границам с соседними. Основной задумкой является расчет возможности цифровизации трассы, изображенной на рис. 2, на участке ПРС56–57, с дальнейшей ее аппроксимацией на всю линию связи.

При использовании одной пары рабочих частот предлагаемое решение предусматривает в составе каждого полукомплекта ПРС два УПП верхнего расположения и БД нижнего расположения, которые соединяются между собой радиочастотным кабелем.

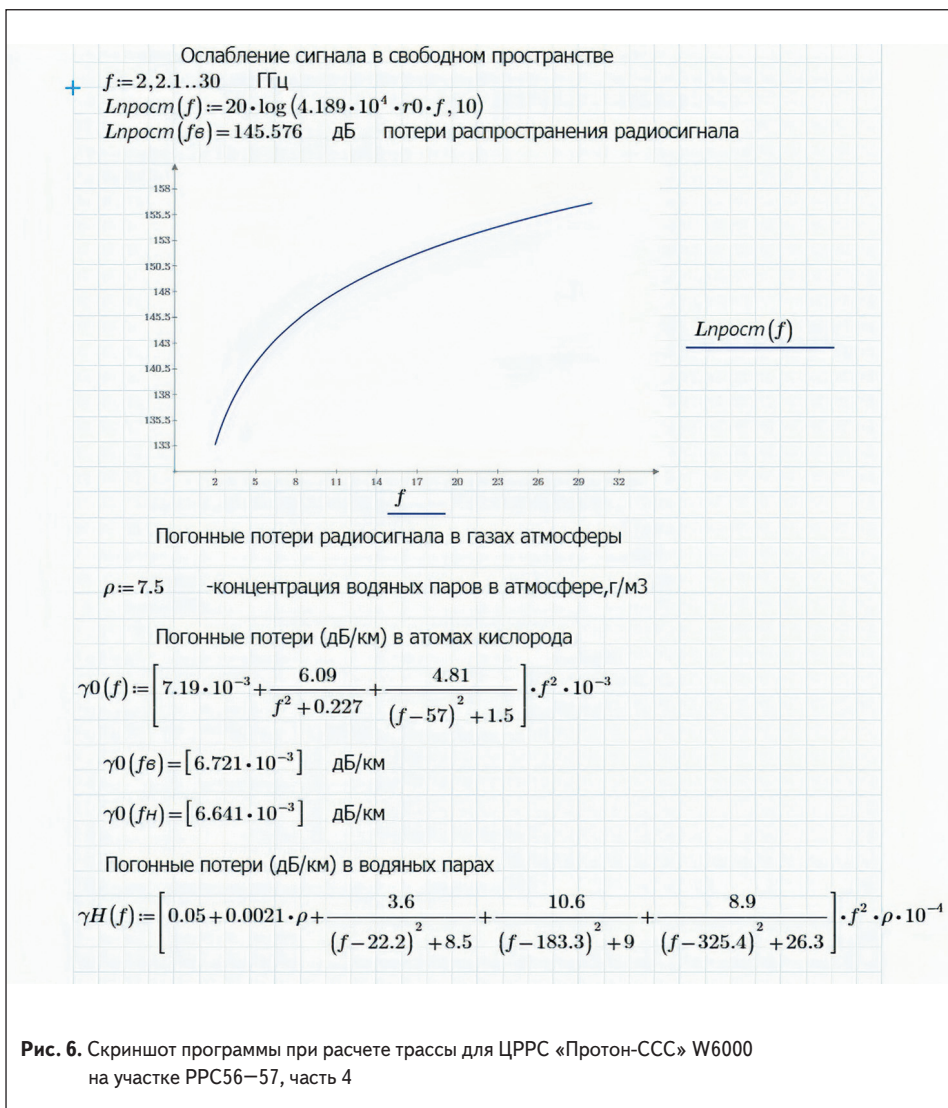
Два УПП обеспечивают работу двух стволов в режиме 2+0 Multilink без пространственно-разнесенного приема и с общим бюджетом пропускной способности каждого ствола до 250 Мбит/с. Передаваемый информационный поток — Ethernet. Предусмотрено использование адаптивной модуляции в диапазоне 4–256 QAM, что обеспечивает пропускную способность 96–400 Мбит/с.

Согласно ГОСТ Р 53363-2009 был выполнен расчет (рис. 3–6), построение трассы TFH-250 (рис. 7) и «Протон-ССС» W6000 (рис. 8) соответственно сделаны в программе MathCAD. Слева — на ПРС56 Красноармейское, справа — ПРС57 Шумерля.

На рис. 7 при построении профиля видно частичное перекрытие первой зоны Френеля. С этим можно связать нередкое появление замирания сигнала при дождливой погоде, возникновение интер-

$G1 := 41.08$ дБ	коэффициент усиления (КПД) антенны приёмопередатчика №1
$G2 := 41.08$ дБ	коэффициент усиления (КПД) антенны приёмопередатчика №2
$L_{\phi 1} := 0.5$ дБ	потери в антенно-волноводном тракте приёмопередатчика №1
$L_{\phi 2} := 0.5$ дБ	потери в антенно-волноводном тракте приёмопередатчика №2
$L_{доп} := 1.5$ дБ	дополнительные потери
$P_{пд} := -9$ дБ	21 дБм мощность на выходе передатчика
$P_{пр\_пор} := -98$ дБ	-68 дБм чувствительность приёмника

Рис. 5. Скриншот программы при расчете трассы для ЦРРС «Протон-ССС» W6000 на участке ПРС56–57, часть 3



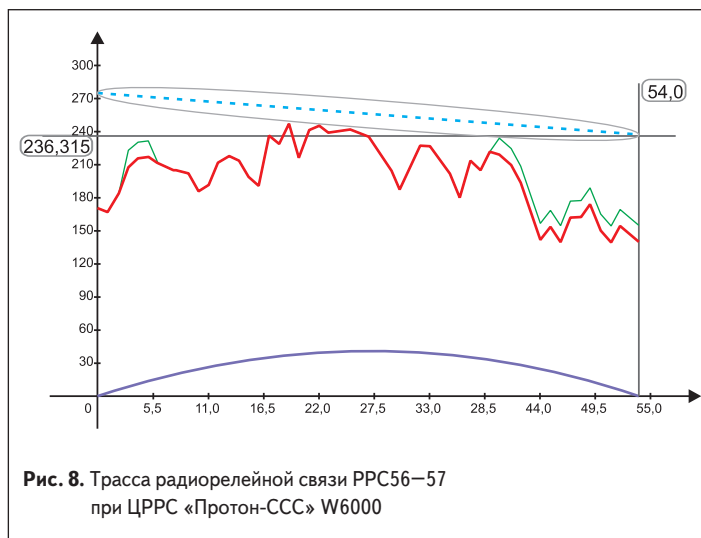
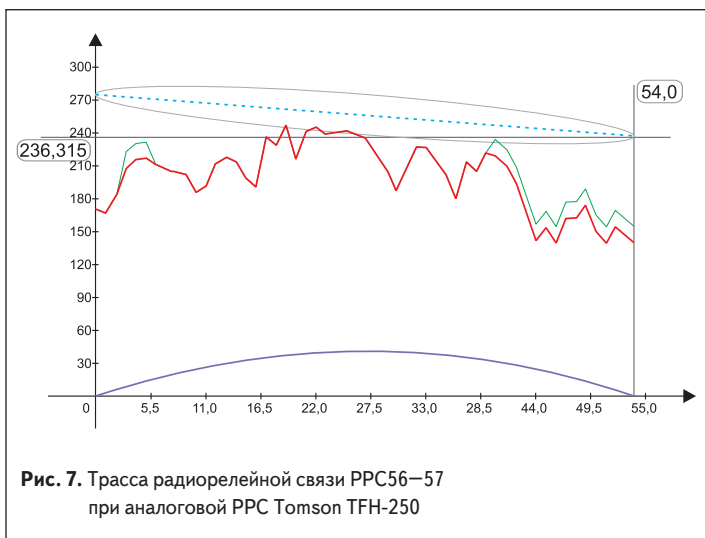
ференции принимаемого сигнала, а также практически недостижение максимальной скорости передачи.

Как видно из приведенного рис. 8, перекрытия первой зоны Френеля не происходит. Из этого можно сделать вывод, что новое смонтированное цифровое оборудование будет работать на максимальной скорости и с максимальной для данного расстояния отдачей.

Для построения линии первой зоны Френеля воспользовались следующей формулой:

$$F(L) = 10 \sqrt{\frac{L \times (R - L)}{R \times F_H}}$$

В формуле:  $L$  — коэффициент кривизны Земли;  $R$  — длина пролета в км;  $F_H$  — нижняя частота приема передачи.



**Таблица.** Качественные показатели РРС56–57 при ЦРРС «Протон-ССС» W6000

Интервал	РРС56–РРС57	
Длина интервала, км	54	
Антенна, диаметр/усиление, м/дБи	1,8/41,08	2048
Модуляция, QAM	128	2048
Пропускная способность, Мбит/с	314	470
Запас на замирания, дБ	35,7	-
Коэффициент недоступности, %	0,0008	0,05
Перерыв связи, мин/год	4	286

Необходимо составить таблицу полученных технологических параметров проектируемой линии связи.

В таблице приведены рассчитанные качественные показатели работы РРС на участке РРС56–РРС57 при двух значениях модуляции (128 и 1024 QAM). В диапазоне 4–128 QAM коэффициент доступности гарантированно находится в пределах нормы (99,9957%), обеспечивая пропускную способность до 314 Мбит/с. Однако большую часть времени в году работа будет происходить с пропускной способностью до 400 и более Мбит/с благодаря применению адаптивной модуляции.

Необходимо отметить, что, меняя существующее оборудование, работающее в интервале 3,4–3,9 ГГц, на более высокочастотное 7,9–8,4 ГГц, мы добиваемся снижения радиуса зоны Френеля, а применяя цифровую модуляцию, увеличиваем скорость и помехозащищенность связи. Исходя из диаграммы на рис. 8 модернизация оборудования рентабельна и возможна.

### Выводы

Линия связи является частью вдольтрассовых коммуникаций магистрального трубопровода, из-за чего при выборе оборудования акцент сделан на возможность получения и передачи большого объема сигналов. На момент написания статьи радиосвязь на участке выполняется при помощи устаревшей аналоговой станции, поэтому необходимость модернизации системы радиокommunikации стоит особенно остро. Следовательно, данные результаты могут быть применены на практике для последующей модернизации всей системы связи. Руководствуясь данной статьей, можно утверждать, что модернизация оборудования

на базе ЦРРС «Протон-ССС» W6000 возможна, причем без больших финансовых затрат. ■

## Литература

1. Сергиенко А. Б. Цифровая связь. Издательство «ЛЭТИ», 2012.
2. Муравьев В. В., Липкович Э. Б. Спутниковые и радиорелейные системы передачи. Минск, БГУИР, 2007.
3. Каменский Н. Н., Модель А. М., Надененко Б. С. Справочник по радиорелейной связи. М.: Радио и связь, 1981.
4. Немировский А. С., Данилович О. С., Мари-монт Ю. И. и др. Радиорелейные и спутниковые системы передачи. М.: Радио и связь, 1986.
5. Быховский М. А., Кирик Ю. М., Носов В. И., Сахаров О. Ю., Сорокин А. С., Сорокин Н. Б. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи. М.: Горячая линия — Телеком, 2014.
6. Теоретические основы многоканальной связи. Под ред. Гитлиц М. В., Лев А. Ю. М.: Радио и связь, 1985.
7. Слюсар В. И. Цифровые антенные решетки. Решения задач GPS //Электроника: наука, технология, бизнес. 2009. № 1.
8. Игнатъев Д. А., Михайлов А. Л. Реализация удаленного доступа по радиоканалу с цифровым блоком РЗА реклоузера. Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. Материалы VI межд. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.
9. Игнатъев Д. А., Михайлов А. Л., Охоткин Г. П. Эксплуатация РРЛ-22 и интеграция каналов связи с системой ТМ СТН-3000 САПР и моделирование в современной электронике. Сборник науч. тр. VI межд. науч.-практ. конф. Брянск: Изд-во Брянского гос. техн. ун-та.
10. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Распаев Ю. А., Харин В. Н., Хворов И. А. Особенности частотного обеспечения, проектирования и строительства радиорелейных систем связи. Учебн. пособие. СПб.: ИТМО, 2013.
11. Зачем нужна радиорелейная связь URL. [www.kommersant.ru/doc/2975638](http://www.kommersant.ru/doc/2975638)
12. Приказ Минкомсвязи России от 10.07.2014 № 200 «Об утверждении Правил применения систем радиорелейной связи. Часть VI. Правила применения цифровых радиорелейных систем связи, передающих пакетные данные».
13. ГОСТ Р 53363-2009 «Цифровые радиорелейные линии». [www.docs.cntd.ru/document/gost-r-53363-2009](http://www.docs.cntd.ru/document/gost-r-53363-2009)
14. ГОСТ Р 50933-96 «Каналы и тракты внутризоновых радиорелейных линий. Основные параметры и методы измерений». [www.docs.cntd.ru/document/1200027306](http://www.docs.cntd.ru/document/1200027306)
15. Приказ Госкомсвязи России № 187 «Правила технической эксплуатации первичных сетей взаимозвязанной сети связи Российской Федерации».
16. Беляковский И. Е. Патент № 191499. Блок контроля для проверки и ремонта синтезаторов частот радиорелейного оборудования. № 2019110415. Заявл. 09.04.2019. Опубл. 08.08.2019. Патентообладатель «Газпром трансгаз», Ухта.

## НОВОСТИ

### Семейство Ethernet-коммутаторов SparX-5i от Microchip

Компания Microchip Technology Inc. анонсирует семейство коммутаторов Ethernet SparX-5i — однокристальное решение на основе стандартов IEEE, которое обеспечивает самый полный в отрасли набор функций TSN.

Семейство SparX-5i поддерживает ключевые стандарты TSN IEEE для осуществления полноценной связи в режиме реального времени. К ним относятся IEEE 1588v2 и IEEE 802.1AS-REV для синхронизации времени, IEEE 802.1Qbv для формирования трафика, IEEE 802.1Qbu/802.3br для уменьшения задержки, IEEE 802.1Qci для предотвращения условий перегрузки трафика и IEEE 802.1CB для непрерывного резервирования. Поддержка этих стандартов одним кристаллом гарантирует сквозную передачу высокоприоритетного трафика с очень малой задержкой. Кроме того, семейство SparX-5i поддерживает уровни L2/L3 Ethernet с полосой пропускания до 200 Гбит/с, в том числе интерфейсы 100 Мбит/с; 1, 2,5, 5, 10 и 25 Гбит/с, являясь наиболее универсальным решением для подключения оборудования из предлагаемых на рынке.

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)