

# Широкополосное многомодовое волокно: что это такое и для чего нужно?

Ноябрь 2015 г.

## Резюме

Кабель на основе многомодового волокна (ММВ) — это «рабочая лошадка» магистралей ЛВС и сетей центров обработки данных, поскольку он обеспечивает самую низкую стоимость высокоскоростной передачи данных на характерные для таких инфраструктур расстояния. В своем развитии ММВ прошло путь от среды для передачи данных на мегабитных скоростях с помощью светодиодов (LED) до мультигигабитного транспорта, использующего 850-нм лазеры поверхностного излучения с вертикальным объемным резонатором (VCSEL). Пропускная способность канала увеличивалась также путем параллельной передачи по нескольким волокнам. Эти инновации позволили увеличить пропускную способность ММВ-кабелей в 40 тысяч раз: от 10 Мбит/с в конце 1980-х годов до 100 Гбит/с в 2010 году, а в 2015 году разрабатывались решения 400 Гбит/с. Такие высочайшие скорости сегодня обеспечиваются мультипликацией потоков 25 Гбит/с, передаваемых по 4 или 16 волокнам в каждом направлении.

Хотя концепция параллельной передачи выглядит простой и эффективной, дальнейшее увеличение числа волокон в одном канале ведет к росту затрат на кабельную систему. Широкополосные многомодовые волокна (ШП-ММВ) используют другой способ повышения скорости передачи данных: пропускная способность каждого волокна увеличивается, по меньшей мере, в четыре раза за счет мультипликации потоков на разных длинах волн. Это позволяет увеличить скорость передачи данных минимум в четыре раза для заданного числа волокон (например, реализовать канал 1600 Гбит/с) или во столько же раз сократить число волокон, необходимых для определенной скорости (например, получить 100 Гбит/с на одном волокне). ШП-ММВ оптимизировано для длин волн в диапазоне от 850 до 950 нм и обеспечивает не только более эффективную поддержку будущих приложений, но и полную совместимость со старыми системами, что делает его идеальной универсальной транспортной средой для задач в настоящем и будущем.

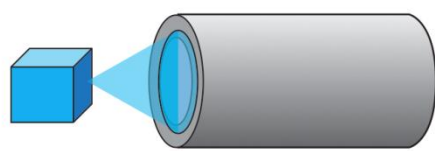
## Краткая история ММВ

ММВ — это первый тип волокна, который начал использоваться в телекоммуникационных сетях в начале 80-х годов прошлого века. В этом волокне сердечник, по которому передается свет, имеет диаметр примерно в шесть раз больше, чем у одномодового волокна. Это облегчает решение задач по выравниванию и центровке волокон, которые встали перед разработчиками разъемов, а также источников и приемников световых сигналов для эффективной передачи света по кабелям.

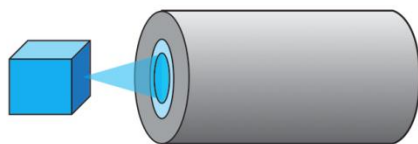
В конце 80-х, когда стало возможным обеспечить центровку с точностью порядка микрона (одна миллионная часть метра, мкм) и появились лазерные диоды, в сетях связи общего пользования стало широко применяться одномодовое волокно. Однако благодаря ценовому преимуществу, связанному с более простой центровкой волокон и широкой доступностью недорогих светодиодных (LED) источников, ММВ осталось основным типом волокна для корпоративных сетей, в которых оно применялось и применяется для самых разных задач, например для подключения УАТС, мультиплексоров передачи данных и построения ЛВС.

В 90-е годы, по мере того как для ЛВС и сетей хранения данных (SAN) стали все больше использоваться Ethernet и Fibre Channel, ММВ стало основной средой передачи для магистралей и других участков сетей, на которых требовалась дальность, превышающая возможности медной витой пары. Когда скорости передачи данных превысили 100 Мбит/с, светодиоды начали уступать место новым недорогим источникам — лазерам VCSEL с длиной волны 850 нм, которые способны гораздо быстрее модулировать сигнал. Это, в свою очередь, привело к переходу от ММВ с диаметром сердечника 62,5 мкм (кабельные системы класса OM1) к волокнам с сердечником 50 мкм (класс OM2). Обусловлено это было двумя факторами:

1. Большая сердцевина 62,5 мкм перестала быть важным преимуществом, поскольку лазеры VCSEL выдают более узконаправленный световой поток, который эффективно «помещается» в жиле 50 мкм, как показано на рисунке 1.
2. Волокно с сердечником 50 мкм обеспечивает более широкую полосу пропускания и лучше подходит для передачи сотен мегабит в секунду.



Typical LED launch into 62.5µm core



Typical VCSEL launch into 50µm core

**Рисунок 1. Засветка волокна с переполнением светодиодом и с частичным заполнением лазером VCSEL**

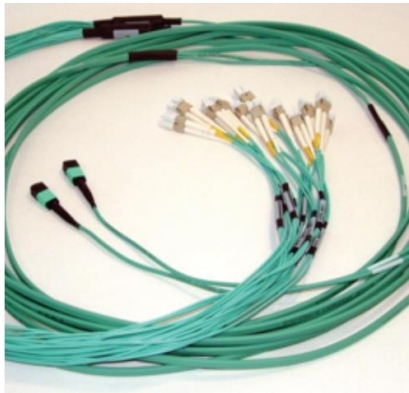


Рисунок 2. Оптимизированное для лазерной передачи MMB LazrSPEED

Когда в конце 90-х наступила эпоха гигабитных скоростей, стали очевидны проблемы методов определения полосы пропускания. Изначально разработанные для оценки полосы пропускания волокна, засвечиваемого светодиодом с переполнением сердцевинки, они не годились при концентрированной засветке лазером VCSEL с частичным заполнением сердцевинки. Это привело к разработке метода определения характеристики пропускной способности, основанного на измерении дифференциальной модовой задержки (DMD), где для вычисления минимальной пропускной способности лазера использовалось множество засветок лазером. Волокна, которые успешно проходили новые измерения, стали называть оптимизированными для лазерной передачи MMB (LOMMF).

Первое стандартное волокно LOMMF обеспечило надежную полосу пропускания не менее 2000 МГц\*км при длине волны 850 нм, то есть в четыре раза больше, чем для волокон OM2 с переполнением. Это волокно стали относить к новому классу OM3 (см. рисунок 2), с которым в начале 2000-х годов началась эпоха скоростей 10 Гбит/с. К концу десятилетия было разработано волокно OM4, гарантирующее коэффициент широкополосности не менее 4700 МГц\*км и предназначенное для обеспечения скоростей 25 Гбит/с для разрабатываемых или уже поставляемых на рынок систем, таких как 25G Ethernet (25GBASE-SR), 100G Ethernet (100GBASE-SR4) и 400G Ethernet (400GBASE-SR16). В сетях SAN, основанных на Fibre Channel, преимущества нового волокна были востребованы технологиями 8GFC, 16GFC, 32GFC и 128GFC (4×32GFC). Сегодня волокна OM3 и OM4 являются основными оптическими средами для сетей Ethernet и Fibre Channel.

## Роль оптических разъемов

Первым широко используемым разъемом для кабельных систем на базе MMB стал разъем ST с цилиндрическим наконечником диаметром 2,5 мм и механизмом крепления с байонетным замком в одноволоконном форм-факторе. Разъем SC с механизмом подключения/отключения push-pull и возможностью сдваивания для двухволоконного (дуплексного) соединения пришел на смену ST в 1990-е годы. Затем был разработан ряд компактных дуплексных разъемов, которые позволили удвоить плотность портов. Из них в начале 2000-х годов наибольшее распространение получил дуплексный разъем LC. Разъем LC с цилиндрическим наконечником диаметром 1,25 мм и привычным лепестковым механизмом фиксации остается самым распространенным и сегодня. Все эти типы разъемов показаны на рисунке 3.



Рисунок 3. Разъемы ST, дуплексные SC и LC

Пока шло развитие дуплексных разъемов, стали появляться групповые разъемы. Такие разъемы впервые стали использоваться в сетях связи общего пользования для соединения ленточных кабелей, содержащих от 8 до 12 волокон. За последнее десятилетие групповые разъемы типа MPO (см. рисунок 4) стали широко применяться в качестве средства для быстрого развертывания кабельных систем в центрах обработки данных. Компактная конструкция MPO позволяет терминировать двенадцать и больше волокон в пространстве, соответствующем дуплексному разъему LC. Высокая плотность MPO позволяет развернуть претерминированную кабельную систему с большим числом волокон, исключив длительный процесс установки разъемов в полевых условиях. Разъем MPO обычно подключали к задней части распределительной кассеты с разъемами LC на передней части, а сегодня он все чаще применяется и спереди коммутационных панелей для систем, использующих параллельную передачу, например 40GBASE-SR4.

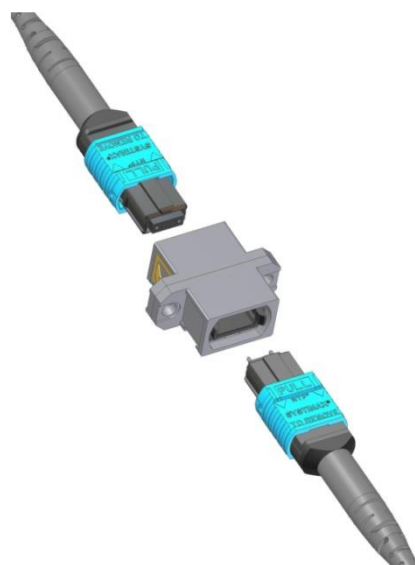


Рисунок 4. Разъемы и адаптер MPO

В рамках подготовки к внедрению технологии 400GBASE-SR16 сейчас в процессе стандартизации находится новый групповой разъем MPO-16. Как следует из названия, в нем количество волокон в каждом ряду увеличено с 12 до 16. Это идеальный вариант для систем -SR16, а также он обеспечивает более легкую и эффективную поддержку технологий, которые используют параллельную передачу по четырем линиям в каждую сторону: 40GE, 100GE и 128GFC. Этот соединитель будет играть важную роль в развитии претерминированных кабельных систем в ближайшее десятилетие.

## Общие сведения о ШП-ММВ

Волокна OM3 и OM4 обеспечивают очень высокую, оптимизированную под лазерную передачу модовую полосу пропускания при 850 нм — основной длине волны в многомодовых системах. Для обеспечения аналогичной производительности в диапазоне длин волн, необходимом для поддержки экономичного спектрального уплотнения (WDM) требуется новое волокно, поскольку пропускная способность OM3 и OM4 резко уменьшается при отходе от эталонной длины волны, и они не подходят для передачи потоков WDM со скоростями более 10 Гбит/с на длину волны. Учитывая, что хроматическая полоса пропускания волокна растет с длиной волны (более 850 нм), а также что запатентованные технологии, такие как Cisco 40G-SR-BD (40 Гбит/с с двунаправленной передачей по волокну), используют лазеры VCSEL 850 нм и 900 нм, логично разрабатывать спецификацию волокна для длины волны от 850 нм и выше.



Рисунок 5. Система WDM с мультиплексированием четырех длин волн

Для обеспечения низкой стоимости системы WDM необходимо номинальное разделение между длинами волн около 30 нм. Соответственно, для поддержки не менее четырех длин волн, как показано на рисунке 5, необходим диапазон (с учетом защитной полосы) 100 нм, от 850 нм до 950 нм.

В октябре 2014 года компания CommScope совместно с несколькими производителями волокна, приемопередатчиков и поставщиками системных решений запустила в ассоциации TIA (Telecommunications Industry Association) проект по разработке нового стандарта волокна, которое бы обеспечивало полосу пропускания OM4 в диапазоне длин волн, показанном на рисунке 6.

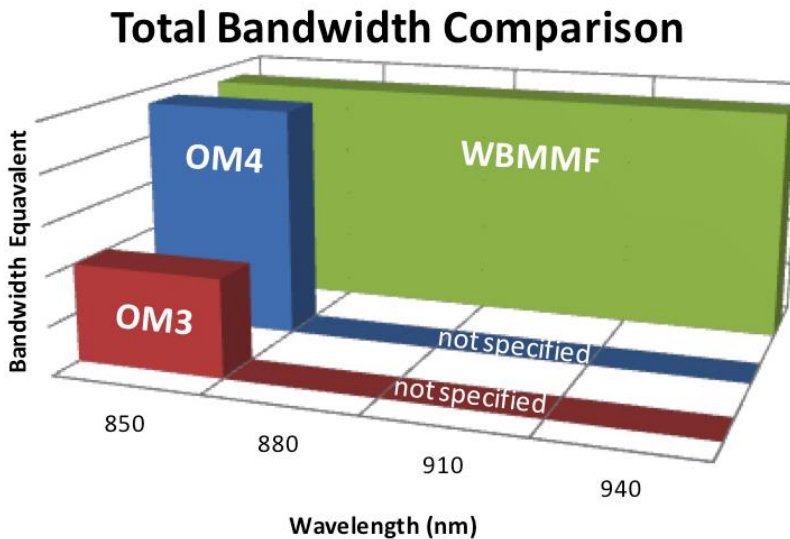


Рисунок 6. Концептуальное сравнение полос пропускания

Смысл этого проекта — улучшить эксплуатационные характеристики многомодового волокна, удовлетворить потребности существующих и будущих приложений и реализовать цели и преимущества, обобщенные на рисунке 7. Подкомиссии Ассоциации TIA TR-42.11 и TR-42.12 поддержали наше стремление и утвердили запуск нового проекта без каких-либо разногласий.

#### Цели и преимущества:

- Сохранение поддержки прежних сфер применения волокна OM4
- Увеличение емкости до более 100 Гбит/с на волокно
- Уменьшение числа волокон на 4x
- Поддержка сети Ethernet:  
100G-SR, 400G-SR4, 1600G-SR16
- Поддержка Fibre Channel:  
128G-SWDM4
- Улучшение полезности MMB
- Повышение ценности MMB для клиентов

Рисунок 7. Цели и преимущества ШП-ММВ

Поскольку новое широкополосное волокно сохранит производительность OM4 на длине волны 850 нм, оно будет совместимо со всеми существующими приложениями, при этом обеспечит передачу данных в режиме WDM с использованием недорогих лазеров VCSEL в будущем. Кроме того, обеспечивая широкую полосу пропускания на больших длинах волн, это волокно позволит использовать более быстрые лазеры VCSEL для перехода к скоростям 50 Гбит/с на канал и более. Очевидно, эти волокна не только помогут уменьшить количество волокон, используемых для параллельных систем передачи, как показано на рисунке 8, но и в сочетании с такими системами позволят достичь более высоких скоростей, например Ethernet 800 и 1600 Гбит/с.



Data Rate	10G Parallel		25G Parallel		10G, 25G Parallel w/ WDM	
	TX	RX	TX	RX	TX	RX
40G	[parallel fiber transmission]		N/A		[WDM transmission]	
100G	[parallel fiber transmission]		[parallel fiber transmission]		[WDM transmission]	
400G	N/A		[parallel fiber transmission]		[WDM + parallel transmission]	

**Legend**

- parallel fiber transmission
- WDM transmission
- WDM + parallel transmission

**Рисунок 8. План развития технологий для параллельных систем и WDM**

В марте 2015 года на конференции Optical Fiber Communications (OFC 2015) компании Finisar и CommScope продемонстрировали технологию WDM на примере прямой передачи данных по системе с 4 разными длинами волн в целевой полосе частот со стандартными характеристиками ШП-ММВ (850 нм, 880 нм, 910 нм и 940 нм), каждая из которых обеспечивала пропускную способность более 25 Гбит/с, а в совокупности — более 100 Гбит/с. Демонстрация спектрального уплотнения коротких волн (SWDM) прошла успешно для MMB LazrSPEED® 550 OM4 длиной более 100 м и MMB LazrSPEED 550 WideBand длиной более 225 м без использования функции прямой коррекции ошибок (FEC). FEC — это технология, которая традиционно используется в сетях стандартов Ethernet и Fibre Channel, чтобы обеспечить более высокую устойчивость связи к ошибкам передачи. Эти демонстрации не представляют реальные расстояния, на которые будут распространяться эти стандарты в будущем, но эксперимент дал хорошее представление о соотношении возможностей волокон OM4 и широкополосных волокон. Фото этой демонстрации приводятся на рисунке 9, где три катушки MMB LazrSPEED WideBand 550 разной длины (т. е. 50, 75 и 100 м) были сцеплены в канал длиной 225 м. Приемопередатчик состоял из четырех модулей SFP, каждый из которых работал на своей длине волны. Модули были объединены в одно волокно во внешнем оптическом мультиплексоре. На выходе волокно разделялось внешним оптическим демультиплексором, и волны разной длины шли в соответствующие приемники.



**Рисунок 9. Система WDM 4 x 25 Гбит/с и MMB LazrSPEED 550 WideBand длиной более 225 м на конференции OFC 2015**

В сентябре 2015 года на конференции Building Industry Consulting Service International (BICSI) в Лас-Вегасе (США) CommScope продемонстрировала приемник Finisar 40G-SWDM4™, работающий без ошибок на расстояниях более 500 м с MMB LazrSPEED 550 WideBand. В левой части рисунка 10 — приемник QSFP, установленный на испытательную установку рядом с катушкой MMB LazrSPEED 550 WideBand. В правой части рисунка изображено фото экрана с показателями скорости передачи данных для каждой длины волны. Все четыре канала во время демонстрации работали без ошибок. На фото показана отметка времени 1 час и 22 минуты.

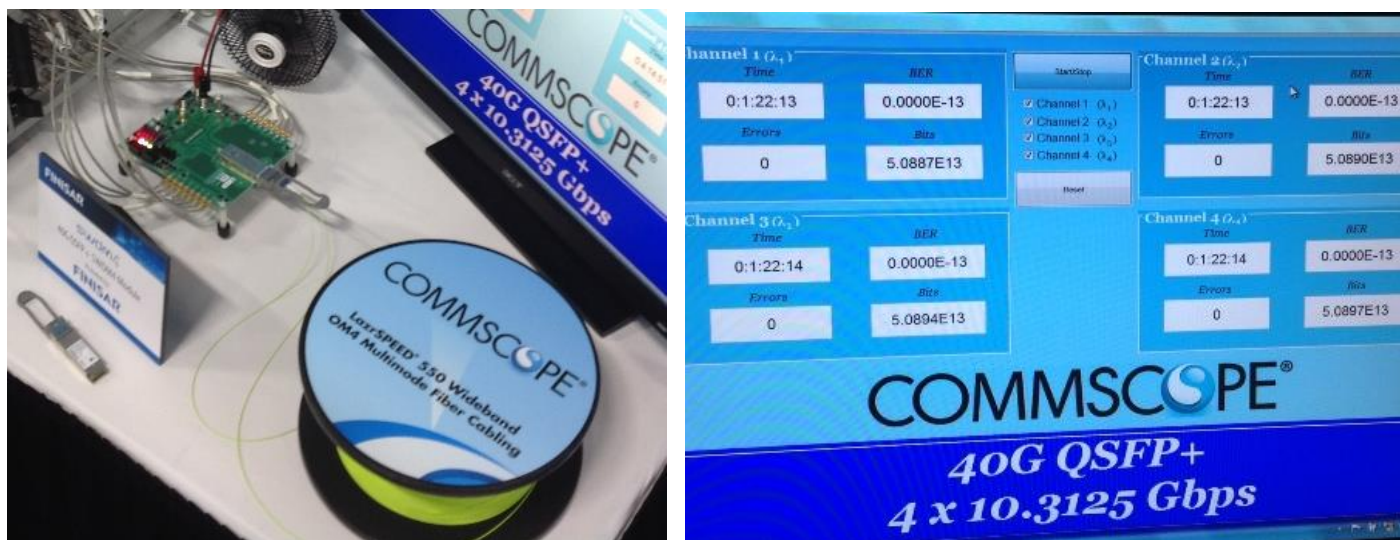
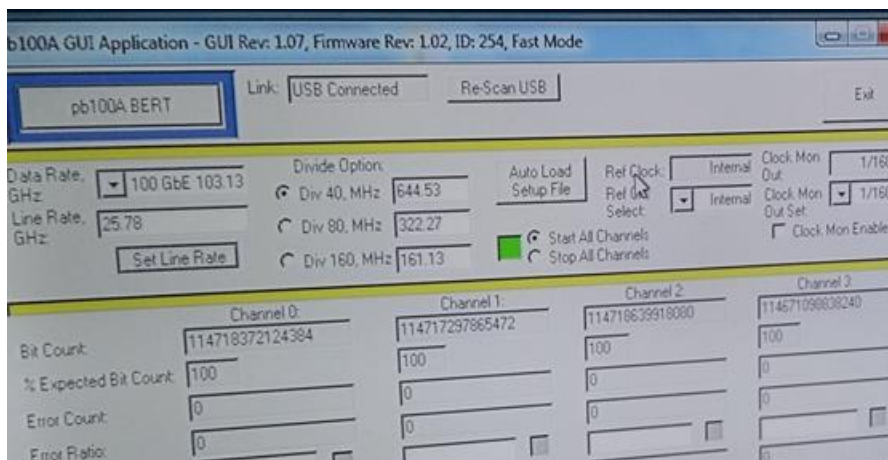


Рисунок 10. Система 40G-SWDM4 с MMB LazrSPEED 550 WideBand длиной более 500 м на конференции BICSI

Позже в сентябре 2015 года на конференции European Conference on Optical Communications (ECOC 2015) в Валенсии (Испания) CommScope продемонстрировала полностью интегрированный приемник QSFP Finisar 100G-SWDM4 с MMB LazrSPEED 550 WideBand длиной более 300 м, что на 75 метров больше, чем на OFC 2015. Как и прежде, демонстрация прошла без ошибок без использования системы FEC. На нижнем фото на рисунке 11 показана передача более 114 трлн бит через каждый из четырех каналов SWDM без ошибок. В октябре та же самая демонстрация была повторена на выставке Gulf Information Technology Exhibition (GITEX 2015) в Дубае, ОАЭ.





**Рисунок 11. Система 100G-SWDM4 с MMB LazrSPEED 550 WideBand длиной более 300 м на конференции ECOC 2015**

В сентябре 2015 г. SWDM Alliance — группа компаний, заинтересованная в развитии и освоении экономичных способов спектрального уплотнения MMB, — запустила веб-сайт для повышения осведомленности общественности и отраслевой экосистемы. В настоящее время в сообществе десять компаний, занимающихся производством приемопередатчиков, коммутаторов, серверов, волокон и кабелей. Дополнительные сведения доступны на сайте [www.swdm.org](http://www.swdm.org).

Благодаря усилиям комитета TR-42 ассоциации TIA стандартизация ШП-ММВ проходит очень быстро. На совещании подкомиссии TR-42.12 в октябре 2015 года проект стандарта TIA-492AAAE был выдвинут на второе голосование. Предполагается, что документ будет опубликован в 2016 году. Пока новый стандарт дорабатывают, несколько производителей волокон уже выпустили ШП-ММВ, которое соответствует этому стандарту или превосходит его. Компания CommScore выпустила кабельную систему LazrSPEED 550 WideBand, которая включает магистральные кабели, соединительные шнуры и распределительные модули для платформы InstaPATCH. Все эти действия нацелены на создание комплексного решения, благодаря которому многомодовые волоконные системы связи выйдут на новый уровень.

.....

Впечатляет технологический прогресс, благодаря которому пропускная способность многомодового волокна увеличилась в 160 000 раз, с 10 Мбит/с до потенциально 1600 Гбит/с, сохраняя свою главную особенность — невысокую стоимость.

Компания CommScore играет ключевую роль в этом процессе, раздвигая пределы современных ограничений и разрабатывая более совершенные многомодовые решения. Дополняя наш портфель с волокнами LazrSPEED 300 (OM3) и LazrSPEED 550 (OM4), мы представляем решение LazrSPEED 550 WideBand с пропускной способностью, которая позволит вашей сети долго оставаться современной.



**CommScope** (NASDAQ: COMM) помогает компаниям по всему миру проектировать и создавать проводные и беспроводные сети, а также управлять ими. Наши решения для сетевой инфраструктуры позволяют увеличить пропускную способность, максимизировать имеющиеся технические мощности, повысить производительность и доступность сети, увеличить энергоэффективность и упростить переход на новые технологии. Наши решения можно найти в крупнейших зданиях, на объектах и открытых площадках, в самых разных центрах обработки данных, в узлах сотовой и стационарной связи, а также в аэропортах, поездах и туннелях. Решения CommScope обеспечивают работу крупнейших в мире сетей.



---

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

Для получения дополнительной информации посетите наш веб-сайт или обратитесь к местному представителю CommScope.

© CommScope, Inc., 2017. Все права защищены.

Все товарные знаки, обозначенные символом ® или ™, являются зарегистрированными товарными знаками или товарными знаками компании CommScope, Inc. Данный документ предназначен только для целей планирования и не предполагает внесения изменений или дополнений в какие-либо спецификации или гарантии, относящиеся к продукции или услугам CommScope.

WP-109042.3-RU (01/17)