

# Оптические и передаточные характеристики многомодовых ОВ и кабелей для локальных линий связи

**М.А.Боев**, д.т.н., профессор НИУ МЭИ / maboev@mail.ru,

**А.И.Микилев**, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ОАО "ВНИИКП" / a.mikilev@vniikp.ru,

**А.Б.Семенов**, д.т.н., проф. НИУ МГСУ / andre52.55@mail.ru

УДК 681.7.068, DOI: 10.22184/2070-8963.2024.123.7.42.50

Рассмотрены характеристики многомодовых телекоммуникационных оптических волокон категорий OM1–OM5, нашедших широкое применение в мире в составе структурированных кабельных систем, ЦОДах, локальных сетях в качестве экономически эффективной среды передачи. Особое внимание уделяется оптическим и передаточным характеристикам, вопросам стандартизации, отмечается необходимость правильного понимания характеристик и терминов, относящихся к пропускной способности многомодовых волокон, в том числе на коротких расстояниях передачи порядка сотен метров.

## Введение

Одной из самых надежных сред передачи информации в стационарных проводных телекоммуникационных линиях является оптическое волокно (ОВ). Продолжая наши предыдущие публикации, посвященные одномодовым оптическим волокнам [1–4], в данной статье несколько дополним тему рассмотрением телекоммуникационных многомодовых оптических волокон (ММ ОВ). В данной статье ставится цель обратить внимание читателей на возможные перспективы и потенциальный технико-экономический эффект от применения ММ ОВ, учитывая недостаточную, по нашему мнению,

развитость отечественного рынка в этом направлении. Также обращено особое внимание на правильное понимание терминологии касательно пропускной способности ММ ОВ.

Волоконно-оптической связи посвящено огромное число публикаций, патентов, стандартов и др. Не ставя цели дать систематизированный обзор по теме статьи, указанной в названии, обратим внимание на, вероятно, наиболее раннюю отечественную статью, посвященную применению ММ ОВ в кабельной инфраструктуре российских инфокоммуникационных сетей [5], а также на относительно недавнюю зарубежную – [6]. Возможно,

пересекаясь во многом с их содержанием, авторы все же надеются дополнить тему некоторыми деталями, сосредоточившись в основном на ММ ОВ категорий OM2–OM5 с градиентным профилем показателя преломления (ППП) сердцевины. Основной областью их применения являются кабели внутриобъектовых систем передачи протяженностью порядка сотен м (иногда до нескольких км). Это структурированные кабельные системы (СКС), соединительные линии в ЦОДах, внутриобъектовые оптические кабели (ОК) в локальных сетях передачи (ЛВС) и др.

При этом заметим, что в целом класс всевозможных ММ ОВ и ОК значительно более обширен, чем здесь рассматривается, и включает, например, ОВ со ступенчатым и/или квазиградиентным профилем, кварц-полимерные и полимерные и многие другие [7]. Область использования широкого семейства ММ ОВ не ограничивается только телекоммуникационной отраслью, но гораздо шире. Это применения, в частности, в медицинской, автомобильной, аэрокосмической, энергетической отраслях, в технологии лазерной обработки и в ряде других сфер. И можно с уверенностью сказать, что эра волоконной оптики только началась и не завершится теперь уже никогда.

### Объемы производства ОВ

В 2023 году примерно 98% объема производства телекоммуникационного волокна приходилось на ОМ ОВ, а доля многомодового составляла не более 2%. Однако, в силу того, что себестоимость и цена продажи ММ ОВ обычно выше одномодового, в денежном выражении различие в объемах продаж и потребления "многомода" и "одномода" представляется не столь значительным.

В России объем потребления (включая импорт) телекоммуникационного ОВ в 2021–2023 годах не превышал 7,5 млн км в год, при этом около 25% заняло отечественное ОМ ОВ производства АО "Оптоволоконные системы" [8]. Объем импорта, производства и потребления "многомода" у нас проследить очень сложно. Можно, скорее всего, заключить, что рынок ММ ОВ в России пока что незначителен, а потенциальный спрос и динамику рынка спрогнозировать непросто. Но при этом следует обратить внимание на возможность промышленного выпуска отечественного градиентного ММ ОВ категорий, близких к OM2–OM3 [9, 10].

### Стандарты и нормативы

В отличие от телекоммуникационных ОМ ОВ, для которых имеется нормативная база достаточно последовательная, выверенная и основана на серии рекомендаций

МСЭ-Т G.652–G.657 и стандарте IEC 60793-2-50, в случае ММ ОВ, к сожалению, особой логики в истории его стандартизации не просматривается. Стараясь не завести далеко читателей в эту, на наш взгляд, довольно утомительную, часто противоречивую и избыточную многочисленными мелкими деталями историю, отметим в качестве путеводной нити наиболее "свежие", действующие на сегодняшнюю дату международные документы, относящиеся к стандартизации характеристик ММ ОВ:

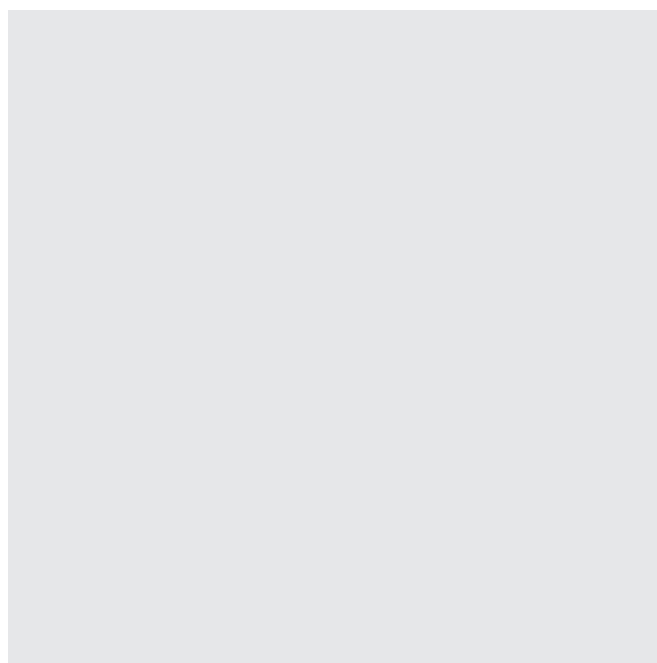
- IEC 60793-2-10 (2019) [11];
- Рекомендация МСЭ-Т G.651.1 (2018 г.) [12];
- ISO/IEC 11801-1:2017 [13].

Из отечественных нормативов, где упомянуты требования к характеристикам ММ ОВ (наряду с требованиями к ОМ ОВ), отметим ГОСТ Р МЭК 60793-2-10-2018 [14] и ГОСТ Р 52266-2020 [15] с тем примечанием, что документы местами требуют актуализации, корректировки и приведения в точное соответствие с [11, 12] в некоторых второстепенных деталях.

### Типы и конструкции ММ ОВ

Ранее нами [1–4] были рассмотрены и классифицированы ОМ ОВ, а здесь аналогичным образом классифицируем ММ ОВ (см. рис.1).

Основные типы и конструкции ММ ОВ согласно группе стандартов IEC 60793-2-10/20/30/40 приведены в табл.1.



**Рис.1.** Общая классификация распространенных типов ММ ОВ

**Таблица 1.** Основные группы и конструкции ММ ОВ согласно классификации МЭК

Стандарт/ актуальность	Тип ОВ	Материал оболочки	Материал сердце- вины	Профиль сердцевин	Диаметр сердцевин/ оболочка, мкм)	Числовая апертура
IEC 60793-2-10 (2019)	A1 (OM1-OM5)	Стекло	Стекло	Градиентный	50/125 62,5/125	0,20 (50/125) 0,275 (62,5/125)
IEC 60793-2-20 (2015)	A2	Стекло	Стекло	Ступенчатый	100/140 200/240 200/280	0,23/0,26
IEC 60793-2-30 (2015)	A3	Полимер	Стекло	Ступенчатый, градиентный	200/230 200/300 200/380	0,35/0,40
IEC 60793-2-40 (2015)	A4	Полимер	Полимер	Ступенчатый, градиентный	950/1000 450/500	0,30/0,50

Далее будем рассматривать главным образом градиентные ММ ОВ на основе кварцевого стекла (категории A1 в табл.1). Эти ОВ известны в мировом и отечественном телекоме под более привычными обозначениями OM1–OM5 по классификации ISO [13]. Такие ММ ОВ производятся многими зарубежными фирмами, включая Corning [16], Prysmian Group – Draka [17], OFS [18], Fujikura [19], Sumitomo [20], FiberHome [21], YOFC [22] и др. Также подобная продукция производится и некоторыми российскими предприятиями [9, 10], о чем упоминалось выше. Однако российское ММ ОВ выпускается в значительно меньших объемах и мало известно на широком рынке. В то же время зарубежная оптоволоконная продукция, в том числе и ММ ОВ в виде всевозможных соединительных кабелей и многого прочего имеется даже в розничной продаже.

В табл.2 приведены основные технические требования для ММ ОВ категорий OM1–OM5, за основу взяты технические требования упомянутых стандартов МЭК и МСЭ-Т [11, 12].

Помимо параметров, приведенных в табл.2, в упомянутых нормативных документах имеются требования к ряду других характеристик: некруглость и неконцентричность сердцевин, оболочки, защитного покрытия и т.д. Эти параметры можно легко найти в спецификациях производителей, технических справочниках, и на них в настоящей статье не будем подробно останавливаться. Сосредоточимся на наиболее важных и интересных для эффективного применения ММ ОВ характеристиках, от которых в первую очередь зависит качество передачи сигнала, то есть на оптических и передаточных характеристиках.

Сначала на коэффициенте затухания и далее особое внимание обратим на так называемый коэффициент широкополосности ММ ОВ в его современной интерпретации.

## Коэффициент затухания и рабочие диапазоны длин волн ММ ОВ

Основной конструкции градиентных ММ ОВ категорий OM2–OM5 является легированное теми или иными добавками (чаще германием, фтором) синтетическое кварцевое стекло. Для читателей, интересующихся свойствами кварцевого стекла можем среди многочисленных возможных других настоятельно рекомендовать книгу [23]. Оптическая область прозрачности чистого кварцевого стекла достаточно широка: от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного диапазона, ориентировочно от ~160 до ~3500 нм. В наиболее распространенных типах ММ ОВ их светоотражающая оболочка чаще всего выполнена из нелегированного стекла (есть и другие варианты), а сердцевину легируют обычно германием с целью получения градиентного ППП. Соответственно, оптическая область прозрачности у легированной сердцевин несколько сужается, кроме того, в изготовленных ММ ОВ присутствует так называемый пик воды на длине волны 1395 нм, аналогичный тому, который имеется в некоторых OM ОВ [1–3]. Типичный график спектрального затухания современного телекоммуникационного ММ ОВ приведен на рис.2.

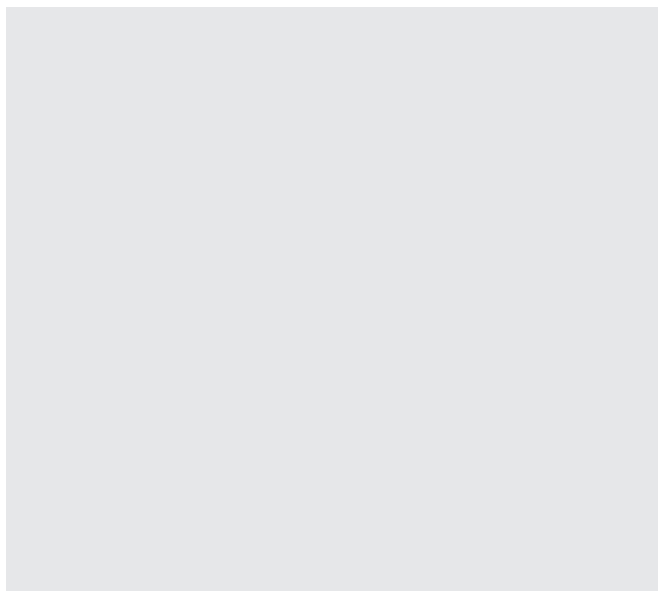
В стандартизованных многомодовых системах передачи первых поколений, да и в большинстве современных таких системах чаще всего используется не

**Таблица 2.** Основные параметры телекоммуникационных градиентных MM OM

Характеристики		Требования IEC 60793-2-10 (2019)/ ISO 11801-1:2017					Требования G.651.1
		OM1	OM2	OM3	OM4	OM5	
Год разработки ОВ (ориентировочно) или стандарта		1990	1995	2000	2005	2015	2018
Актуальное обозначение ММ ОВ, IEC 60793-2-10 (2019)		A1-OM1 –	A1-OM2a A1-OM2b	A1-OM3a A1-OM3b	A1-OM4a A1-OM4b	A1-OM5a A1-OM4b	–
Старое обозначение ММ ОВ, ГОСТ Р 52266-2020 ГОСТ Р МЭК 60793-2-10		A16	A1a.1	A1a.2	A1a.3	A1a.4	–
Диаметр сердцевины (кварцевое стекло), мкм		62,5 ± 3	50 ± 2,5				50 ± 2,5
Диаметр оболочки (кварцевое стекло), мкм		125 ±2	125 ± 1				125 ± 1
Диаметр защитного покрытия, мкм		245 ± 10 (неокрашенное) 250 ± 15 (окрашенное)					Нет требований
Коэффициент затухания, дБ/км	850 нм	≤2,9	≤2,5				≤3,5
	1300 нм	≤0,6	≤0,8				≤1,0
Числовая апертура		0,275 ± 0,015	0,200 ± 0,015				
Групповой индекс	850 нм	1,496	1,483				
	1300 нм	1,491	1,479				
Произведение [Полоса]X[длина](OFL)1, МГц · км	850 нм	≥200	≥500	≥1500	≥3500	≥3500	500
	1300 нм	≥500	≥500	≥500	≥500	≥500	500
Произведение [Полоса] X[длина](EMB)2, МГц · км	850 нм	–	≥1000	≥2000	≥4700	≥4700	–
	953 нм	–	–	–	–	≥2500	–
	1300 нм	≥500					
Затухание на изгибе, дБ: 2 витка, радиус 15 мм (категория "а")	800/ 1300 нм	–	≤1,0				≤1,0
Затухание на изгибе, дБ: 2 витка, радиус 15 мм, 2 витка, радиус 7,5 мм, дБ (категория "b")	800/ 1300 нм	–	≤0,1/0,3 ≤0,2/0,5				Нет требований

Примечания:

1. OFL (overfilled launch) – "переполненное возбуждение", метод измерения IEC 60793-1-41.
2. EMB (Effective Modal Bandwidth) – "эффективная модовая полоса пропускания", метод измерения IEC 60793-1-49.
3. OM OM1 с типоразмером 62,2/125 мкм считается устаревшим и не рекомендуется для применения в современных сетях.

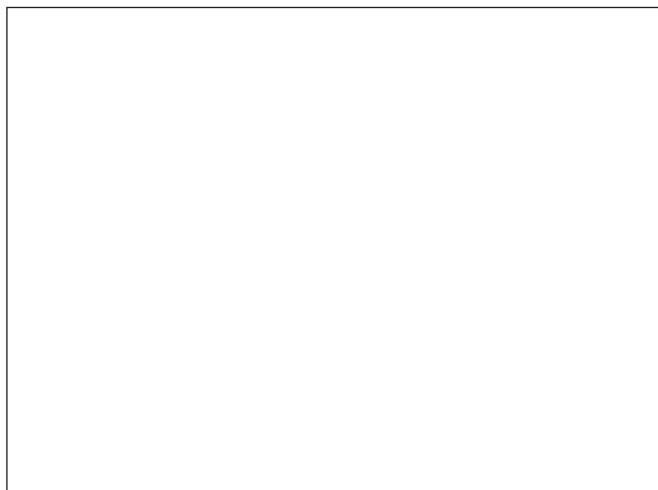


**Рис.2.** Типичная зависимость коэффициента затухания от длины волны ММ ОВ 50/125 мкм

весь оптический диапазон, а только отдельные длины волн в окрестностях 850 и 1300 нм. Кроме того, в современных системах так называемого коротковолнового спектрального уплотнения на четырех длинах волн (SWDM – Short Wave Division Multiplexing) сегодня активно осваиваются длины волн 850, 880, 910 и 940 нм [24, 25], для которых стандартизировано наиболее продвинутое ММ ОВ категории OM5. Характеристики волокна OM5 также приведены в табл.2.

В принципе, нет особых препятствий для применения "многомода" и на других длинах волн, начиная от ближнего ультрафиолетового диапазона, с учетом возможных ограничений по затуханию. Очень возможно, что в будущих системах с небольшими расстояниями передачи (порядка единиц и десятков м, например для оптических межсоединений в квантовых компьютерах и т.п.) мы будем свидетелями этого.

На стандартных сегодня для ММ ОВ рабочих длинах волн 850/1300 нм коэффициент затухания обычно составляет около 2,2 и 0,6 дБ/км, соответственно. Это затухание, хоть и может показаться достаточно большим в сравнении с OM ОВ, в общем-то не столь критично для коротких (сотни м) линий, для которых ММ ОВ и предназначено. У большинства типичных современных многомодовых систем полное затухание в линии, даже с учетом потерь в коннекторах, составляет порядка 1–2 дБ.



**Рис.3.** Конструкции телекоммуникационных градиентных ММ ОВ: а – первых поколений; б – современные конструкции

## Характеристики затухания на изгибах

Помимо "спектрального затухания" для ММ ОВ (также как и для многих OM ОВ), практически значимыми в последние годы стали характеристики затухания на изгибах и микроизгибах. В частности, это требование становится более актуальным по причине сильно выросшей емкости СКС/ЦОД/ЛВС и, соответственно, – плотности оптической кабельной сети в них. Отметим, что меньшая чувствительность затухания к изгибу у современных конструкций ММ ОВ дает дополнительные преимущества при прокладке таких ОВ в условиях ограниченного места в кабельных каналах внутри ЦОД, в панелях, кроссах и прочем, а также в более экстремальных случаях при пониженных температурах эксплуатации.

Примерно с 2010 года большинство производителей стали совершенствовать конструкции ММ ОВ и многие перешли на выпуск более стойких к изгибу конструкций. Данные тенденции нашли отражение и в последней версии упомянутого выше стандарта IEC 60793-2-10-2019 [11].

Вследствие этих изменений современная номенклатура ММ ОВ категорий OM2–OM5 оказалась разделенной на два "подвида": категория "а" – обычное ММ ОВ и категория "b" – стойкое к изгибам ММ ОВ. В табл.2 требования к затуханию на изгибах приведены в последних строках снизу. К примеру, волокно OM3 сегодня может поступить некоему заказчику в современном "изгибостойком" варианте A1-OM3b (категория "b"), однако не исключено, что и в "старом" варианте A1-OM3a (категория "а") (рис.3).

Кстати, соответствующие различия в конструкциях современных ММ ОВ можно также проследить



в многочисленной патентной базе последних 20 лет. Но на практике сегодня редкий пользователь знает (скорее всего – вообще не слышал) про "тонкости" относительно конструкций и чувствительности к изгибу различных ММ ОВ и не сможет самостоятельно определить эти различия вплоть до того момента, когда какой-нибудь шнур или соединительный кабель не окажется где-нибудь сильно зажатым или изогнутым в его кабельной сети. Соответственно, в случае каких-либо "подозрений" и проблем, можно рекомендовать обращаться за разъяснениями к соответствующему производителю ОВ или ОК и уделять большее внимание изучению спецификаций.

### Пропускная способность ММ ОВ: что следует знать

Данная статья могла бы выйти в свет значительно раньше, чем это произошло по факту. Однако в процессе работы над ней авторы пришли к заключению, что применительно к ММ ОВ параметр bandwidth (и его русский перевод, дословно: "полоса пропускания") за последние два десятилетия почти полностью потерял свое техническое содержание и превратился едва ли не в коммерческий жаргон. На осознание этого

факта ушло значительное время. Бесплезно анализировать, почему и как это произошло. Но имеющее место сегодняшнее искажение смысла "широкополосности" ММ ОВ уже настолько широко растражировано во множестве документов (спецификациях и прочих источниках), что исправить положение представляется почти невозможным.

Если обратиться к упомянутой выше рекомендации МСЭ-Т от 2018 года [12] в качестве твердой основы для правильной терминологии, то технические требования к широкополосности ММ ОВ записаны там в виде требований к параметру, названному так: Modal bandwidth-length product for overfilled launch. Авторы предлагают следующий перевод: "Произведение модовой полосы пропускания на длину волокна для переполненного возбуждения".

Отметим, что одним из ключевых здесь, помимо собственно "полосы пропускания" и прочих деталей, является слово "произведение" (product)! Однако в "даташитах" ведущих производителей волокна мы уже нигде не увидим и намека на это ключевое слово. Обычно указано что-нибудь вроде modal bandwidth, overfilled modal bandwidth и т.п. Более заинтересованным специалистам рекомендуем заглянуть в соответствующие

ООО «Саранскабель-Оптика»  
430016, РМ, г. Саранск,  
ул. Строительная, 3Г, стр. 1  
Тел/факс: +7 (8342) 47-38-13, 48-02-99  
lan@sarko.ru www.sarko.ru

**LAN-кабель cat. 5E, cat. 6**  
в наличии на складе в г. Саранск

**СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ!**

спецификации ММ ОВ на упомянутых выше сайтах [16–22].

Таким образом, первоначально более или менее стандартизированный параметр "произведение полосы пропускания на длину (волокна)" сегодня нам преподносится в форме не совсем корректных терминов "полоса пропускания", "коэффициент широкополосности" и т.д. Именно поэтому в табл.2 в данной статье мы указываем не "коэффициент широкополосности", но "произведение полосы пропускания на длину волокна" с учетом того или иного метода измерений. И это принципиально важно, но не только это. Возможно, нам удастся написать более подробную и развернутую статью (статьи) по рассматриваемому вопросу правильного понимания "широкополосности" ММ ОВ. При этом придется еще заняться и методами измерений [26, 27], где еще остается также весьма немало неоднозначностей и "белых пятен". А пока что, предварительно, помимо нашего намека на необходимость вернуться на истинный путь правильного понимания смысла характеристик широкополосности ММ ОВ, далее еще затронем и вопрос о правильной размерности параметров широкополосности.

Современный так называемый "коэффициент широкополосности" ММ ОВ (обозначим его как  $B$ ) принято "линейно нормировать" относительно единицы длины волокна:

$$B = B_{\text{Лопт}} \cdot L,$$

где  $B_{\text{Лопт}}$  – это фактически измеренная на катушке ОВ длиной  $L$  оптическая полоса пропускания ОВ, выражаемая в МГц (или в ГГц).

Длина ОВ на катушке у большинства производителей обычно равна 4,4–17,6 км, и на этой всей (а не на 1 км, как положено по нормативам!) длине производится измерение  $B_L$ . С применением принятой сегодня практики такой "линейной нормализации" "коэффициента широкополосности", получим следующее. Если производитель определил, что полоса пропускания ММ ОВ в результате измерений (пока не важно, каким способом) на катушке длиной 10 км получилась, например, 500 МГц, то свой полученный таким образом "коэффициент широкополосности" он указывает как  $500 \text{ МГц} \times 10 \text{ км} = 5000 \text{ МГц} \times \text{км}$ , и относит волокно к категории ОМ4.

Однако конечный потребитель обычно имеет дело с волокном длиной в десятки-сотни метров в составе соединительного кабеля. Если предположить, что "линейная нормализация" правомочна (в чем есть

определенные сомнения!), то в таком случае полоса пропускания этого ММ ОВ должна быть обратно пропорциональна длине волокна. Соответственно, истинная полоса пропускания волокна длиной 10 км (фактически измеренная) равна 500 МГц, при длине 1 км она, по принятому "линейному" расчету, ожидаемо должна быть 5 ГГц, а при длине 100 м, аналогичным образом, – 50 ГГц.

Однако есть немалые основания полагать, что подобная "линейная нормализация" не основана на доказанных физических принципах. Имеется достаточно публикаций о том, что уширение оптического импульса в ММ ОВ за счет межмодовой дисперсии ведет себя не как линейная функция, а как корень квадратный от расстояния. Это происходит после некоторого так называемого состояния "установившегося равновесия мод", которое зависит от целого множества других физических факторов, и в которые уже мы не имеем возможности углубляться в пределах объема данной статьи. Но общий результат, весьма вероятно, будет таков, что декларируемая пропускная способность (в смысле произведения полосы пропускания на длину волокна) ММ ОВ длиной порядка 0,1–1 км окажется значительно меньше, чем в более длинном ОВ в несколько километров.

Ограничив вышесказанными рассуждениями наше отношение к распространенному пониманию "коэффициента широкополосности" ММ ОВ, надеемся еще вернуться к данному вопросу с значительно большими подробностями в будущих публикациях. А пока отметим, что сделать однозначный вывод о том, что некое конкретное ММ ОВ соответствует своей заявленной категории ОМ3–ОМ5, без специальных измерений обычному потребителю практически невозможно. Чтобы измерить "истинную широкополосность" (да и ряд других параметров, даже коэффициент затухания с приемлемой точностью) ММ ОВ на коротких длинах его физической длины (менее 1 км), приходится иметь дело с десятыми, а то и сотыми долями нс, дБ и пр. Соответствующее измерительное оборудование весьма уникально и дорого, а надежных и утвержденных методик измерений пока не существует. Хотя формально можно "поверить на слово" изготовителю. По признаку "широкополосности" внешнюю оболочку соединительных многомодовых кабелей обычно окрашивают в следующие цвета: одномодовое ОВ – желтый, ОМ1 – серый, ОМ2 – оранжевый, ОМ3 – бирюзовый, ОМ4 – сиреневый, ОМ5 – салатовый. Но не все кабельные заводы строго придерживаются именно такой окраски ОК.

## К практике применения ММ ОВ: дальнейшие перспективы

Ранее мы упоминали, что у телекоммуникационного ММ ОВ имеется много конкурентов даже в его традиционных областях применения, где расстояние передачи не превышает сотен метров. Но если ограничить область конкуренции только оптическим волокном, то в качестве альтернативы "многомоду" остается только ОМ ОВ. С учетом того, что "одноمود" дешевле, а активное одномодовое оборудование также дешевеет, можно ли предположить, что ММ ОВ когда-нибудь вообще уйдет со сцены (хотя на отечественную сцену, за исключением ОК для спецприменений, оно особо еще и не приходило)? На наш взгляд, этого не произойдет, так как, как говорилось в начале статьи, эра волоконной оптики только начинается, и найдется место всем решениям.

В пользу перспектив применения телекоммуникационных ММ ОВ, и сегодняшних стандартных, и будущих конструкций, можно привести следующие аргументы:

- развитость мирового рынка ММ ОВ, где оно было и остается востребованным;
- экономически более выгодные решения в ряде применений в интегрированных системах в составе СКС, ЦОД и пр. в силу того, что

многомодовые оптические соединения менее критичны к точности исполнения коннекторов, соответственно, более дешевы;

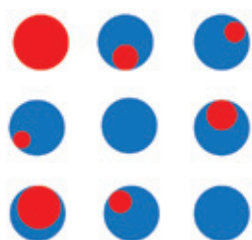
- активное оборудование (трансиверы, модули и пр.) для многомодовых систем, как правило, значительно дешевле, чем для одномодовых, кроме того, потребляет меньшую мощность электропитания, что важно для современных крупных ЦОД;
- многомодовые стандартные коннекторы 50/125 менее чувствительны к загрязнениям торцов при многократной перекоммутации, что положительно сказывается на надежности сетей и стоимости их обслуживания;
- оптическая область рабочих длин волн для ММ ОВ еще далеко не вся освоена, появление категории OM5 для SWDM – это возможно только начало процесса и нет технических препятствий для освоения более полного диапазона длин волн, включая ближнюю ультрафиолетовую область, видимый оптический диапазон и др.;
- дальнейшее развитие и стандартизация технологий волоконно-оптической связи

Организатор:



14.02.2025

отель Continental,  
г. Москва, ул. Тверская, д. 22



## II Федеральный форум Корпорации в цифре

Подробнее тут:



[www.comconf.ru/cin2024](http://www.comconf.ru/cin2024)

### ФОРУМ «КОРПОРАЦИИ В ЦИФРЕ» –

это площадка для обсуждения и обмена опытом по ключевым вопросам и актуальным проблемам развития кэптивных ИТ-компаний в ведущих отраслях РФ. Это уникальное событие, где ведущие эксперты обмениваются знаниями и идеями, направленными на преодоление вызовов в современном цифровом мире.

### ЦЕЛЬ ФОРУМА –

налаживание взаимодействия между кэптивными ИТ-компаниями (инсорсерами) и независимыми ИТ-компаниями (аутсорсерами), а также обсуждение бизнес-сообществом наиболее актуальных вопросов, с которыми столкнулись участники рынка в ходе цифровой трансформации после ухода с российского рынка иностранных технологических вендоров.



для скоростей передачи 10/25/40/100/400 Gigabit Ethernet и т.д.;

- все более широкое применение ММ ОВ в целом ряде отраслей, помимо телекоммуникационной (распределенные системы датчиков, автомобильная, аэрокосмическая отрасли, энергетика и многое другое);
- перспективы развития техники и практики освоения сегодняшних многомодовых решений при создании новых поколений ММ ОВ с несколькими сердцевинами в высокочастотных телекоммуникационных локальных системах с большей пространственной плотностью каналов передачи (квантовые компьютеры и пр.), а также аналогичных полимерных ММ ОВ;
- показана возможность (в лабораторных условиях) передачи с общей пропускной способностью 1 Пбит/с в режиме модового мультиплексирования по ММ ОВ с одной сердцевиной при модовом мультиплексировании 15 мод [28].

## Заключение

Кратко рассмотрены основные оптические и передаточные характеристики современных градиентных типов ММ ОВ типоразмера 50/125 мкм, категорий OM1–OM5, широко применяемых в локальных телекоммуникационных сетях во всем мире. Российские масштабы производства и применения подобных ОВ пока незначительны, хотя потенциал рынка и возможный технико-экономический эффект от более широкого внедрения ММ ОВ нам представляются сегодня очень недооцененными.

Важно уделить внимание вопросу контроля качества и уровня характеристик ММ ОВ. Соответствие его мировому уровню по комплексу характеристик, обеспечение качества и надежности предполагает стабильные технологии производства, аттестованные методики испытаний, наличие соответствующего контрольно-измерительного оборудования.

Терминология, методы определения "параметров широкополосности", их корректность, предельно достижимые характеристики локальных кабельных сетей с применением ММ ОВ требуют переосмысления и написания, по-видимому, нескольких отдельных статей по этим вопросам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Микилев А.** Оптические волокна стандартной группы: эволюция и перспективы // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2015. № 6. С. 34–39.
2. **Микилев А.** ОВ для наземных ВОСП со сверхнизким затуханием и увеличенной эффективной площадью // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2017. № 3. С. 14–18.
3. **Микилев А., Павлычев М.** Оптические волокна класса ULL: характеристики и вопросы применения // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2021. № 8. С. 18–25.
4. **Боев М.А., Ким Э., Микилев А.И.** Вопросы конструирования оптических кабелей для применения в терабитных системах передачи // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2022. № 8. С. 52–56.
5. **Бурдин А.В.** Многомодовые оптические волокна в современной кабельной инфраструктуре российских инфокоммуникационных сетей // Электросвязь. 2010. № 4. С. 24–27.
6. **Камино Дж.** Стандарты внутри объектового многомодового волокна: что нового? // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2019. № 3. С. 42–47.
7. **Мендес А., Морзе Т.Ф.** Справочник по специализированным оптическим волокнам / Под ред. Пестрецов К.А. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2012. 728 с.
8. <https://rusfiber.ru/>
9. <https://pnppk.ru/optich>
10. Многомодовое оптическое волокно с градиентным профилем показателя преломления [Электронный ресурс]. URL: <http://goi.ru/production/fiber/mm/grad> (дата обращения 15.10.2024).
11. IEC 60793-2-10 (2019)
12. Рекомендации МСЭ-Т G.651.1 (2018)
13. ISO/IEC 11801-1:2017.
14. ГОСТ Р МЭК 60793-2-10.
15. ГОСТ Р 52266-2020.
16. <https://www.corning.com>
17. <https://ru.prysmiangroup.com>
18. <https://www.ofsoptics.com>
19. <https://www.fujikura.co.jp>
20. <https://global-sei.com>
21. <https://en.fiberhome.com>
22. <https://en.yofc.com/>
23. **Леко В.К., Мазурин О.В.** Свойства кварцевого стекла. Л.: Наука, 1985.
24. Второе дыхание многомодового. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/comptek/articles/350098/> (дата обращения 15.10.2024).
25. **Семенов А.** Многомодовое волокно с улучшенными частотными свойствами // Журнал сетевых решений LAN. 2013. № 2.
26. IEC 60793-1-41. Optical fibres Part 1-41. Measurement methods and test procedures Bandwidth.
27. IEC 60793-1-49. Optical fibres Part 1-49: Measurement methods and test procedures Differential mode delay
28. World's First Successful Transmission of 1 Petabit per Second Using a Single-core Multimode Optical Fiber [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nict.go.jp/en/press/2020/12/18-1.html> (дата обращения 15.10.2024).

25–26 марта 2025 г. | Омск

## XXVI СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

# ПРОМТЕХЭКСПО • 2025

### В объединённой экспозиции:

- Машиностроение.  
Металлообработка. Сварка.  
Инструмент.
- Автоматизация.  
Радиоэлектроника.  
Приборостроение.
- Метрология. Измерения.  
Диагностика.
- Омскгазнефтехим. Экология.
- Энергосиб. СибмашТЭК.
- Индустрия безопасности.  
Связь. ИТ-решения.  
Цифровизация.
- Промышленная робототехника.  
Аддитивные технологии.  
Композитные материалы.
- Наука. Образование. Кадры.
- Финансовые услуги.
- Рекламные услуги.  
Продвижение. Маркетинг.