

Можно ли волокна завязывать в узел?

В настоящее время неуклонно растет интерес к прокладке оптического волокна (ОВ) прямо до квартиры или частного дома абонента. Однако стеклянное волокно это не обычный провод и в данной ситуации всплывает один из его недостатков – волокна очень чувствительны к различным механическим нагрузкам и изгибам. Если первая проблема решается защитой хрупкого волокна от механических нагрузок с помощью различных силовых элементов и оболочек кабеля, то вторая проблема решается не так просто и связана со значительным увеличением потерь мощности сигнала на макроизгибах волокон, возникающих вследствие прокладки абонентского кабеля, в том числе в самой квартире абонента. Например, в сетях PON, передаваемый на длине волны 1550 нм сигнал кабельного телевидения, на одном изгибе стандартного волокна радиусом 10 мм может терять до 60% (примерно 4 дБ) своей мощности.

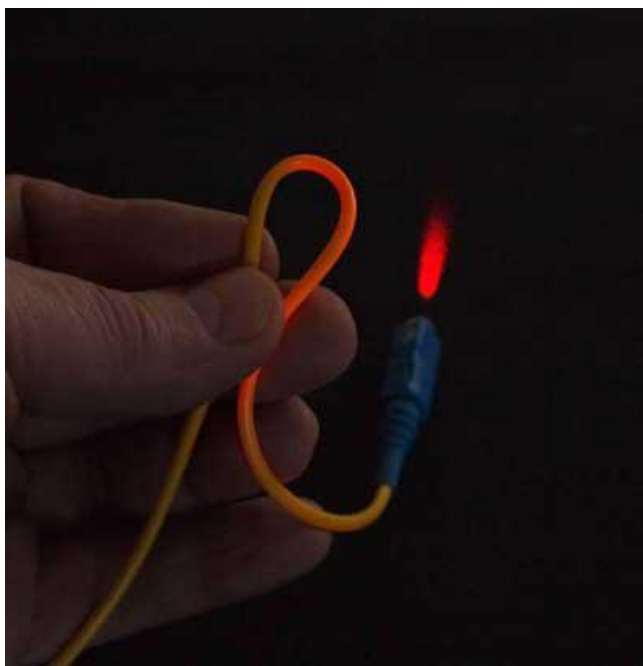
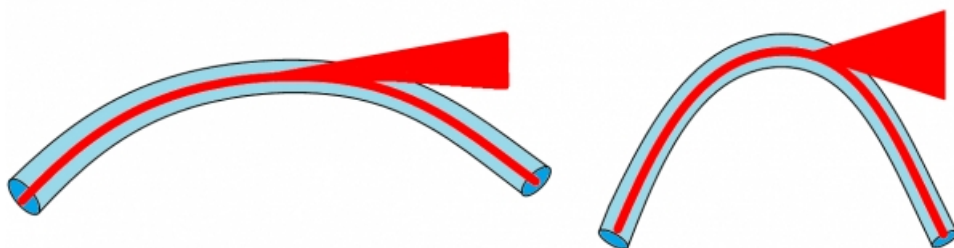


Рис.1 – Схематичное изображение возникновения потерь энергии сигнала на изгибе ОВ и реальное изображение

Важно отметить, что проблема возникновения значительных потерь на макроизгибах ОВ, помимо сетей доступа затрагивает и транспортные оптические сети. По причине непрофессионального монтажа муфт или использования некачественного оптического кабеля, нередко возникают перебои в работе линии связи в результате, появляющихся вследствие возникновения макроизгибов ОВ, например в муфтах. В связи с этим, становится актуальным применение ОВ класса G.657A на транспортных сетях. Для решения данной проблемы сегодня существует множество типов нечувствительных к изгибу волокон стандарта G.657.

Оптические волокна G.657 позволяют увеличить плотность размещения компонентов в кроссовом оборудовании, а также, в случае использования усовершенствованной системы укладки волокон, снизить массу и размер устанавливаемых распределительных шкафов примерно на 40 и 75% соответственно.

В данной статье рассмотрены основные моменты, относительно нечувствительных к изгибу, волокон. Приведены основные параметры данных волокон, их сравнение со стандартными одномодовыми волокнами. Рассмотрены виды исполнения нечувствительных к изгибу волокон, их конструктивные особенности. Данный материал может быть интересен и полезен специалистам связи, работающим с волоконно-оптическими сетями.

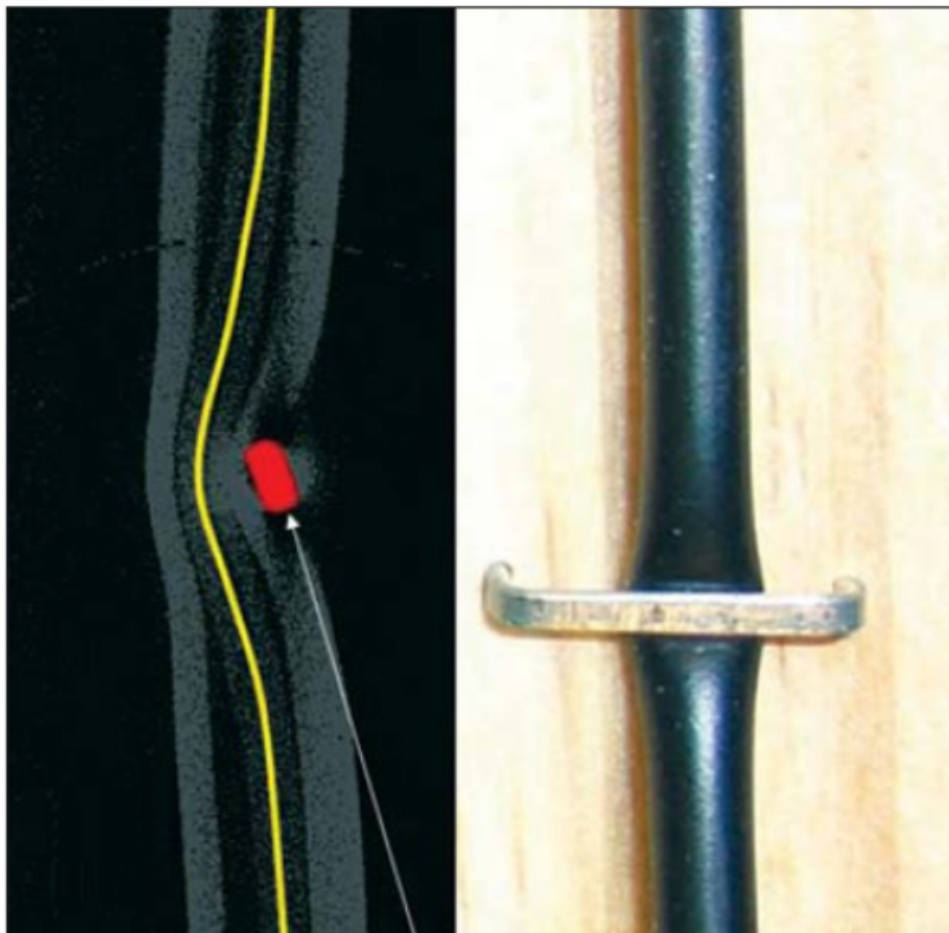


Рис. 2 – Абонентский оптический кабель, закрепленный с помощью плоской скобки

Классы оптических волокон спецификации G.657

В ноябре 2016 года, вышла обновленная четвертая редакция спецификации G.657 "Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fiber and cable". В этом документе отражены 4 класса ОВ стандарта G.657: A1, A2, B2, B3.

Волокна категории G.657.A идентичны по характеристикам ОВ класса G.652D, за исключением пониженных потерь на макроизгибе. Эти волокна подходят для использования в O-, E-, S-, C- и L-диапазонах (т.е., во всем рабочем диапазоне длин волн стандартных одномодовых волокон – от 1260 нм до 1625 нм). Волокна категории G.657.A могут использоваться для всех сетей, где определено применение волокна ITU-T G.652.D. Из этого следует полная совместимость ОВ G.657A с стандартным одномодовым волокном с пониженным водородным пиком, требования к которому определены ITU-T G.652.D.

Волокна подкатегории G.657.A1 имеют минимальный радиус изгиба 10 мм. Волокна подкатегории G.657.A2 имеют минимальный радиус изгиба 7.5 мм. Напомним, что для стандартных волокон G.652.D радиус составляет 30 мм.

Волокна категории G.657.B нацелены на дальнейшее снижение потерь на макроизгибах и, следовательно, могут быть использованы в случаях еще меньшего значения радиуса изгиба. Эти волокна предназначены для сетей небольшой протяженности (менее 1000 м), т.е. сетей доступа. Эти волокна подходят для использования в O-, E-, S-, C- и L-диапазонах (от 1260 нм до 1625 нм). На волокна категории B не накладывается требование полного соответствия стандартными одномодовыми волокнами G.652.D в плане значений коэффициента хроматической дисперсии и поляризационной модовой дисперсии. Эти волокна считаются условно совместимыми с G.657.A и G.652.D в сетях доступа. Это означает, что совместное использование волокон G.657.B с волокнами G.657.A или G.652.D в некоторых случаях может вызвать незначительное ухудшение параметров оптической системы. Полной гарантии совместимости уже нет и некоторые волокна этого класса могут по своим параметрам значительно отличаться от ОВ G.652.D.

Волокна подкатегории B2 имеют минимальный радиус изгиба 7,5 мм, волокна подкатегории B3 – радиус 5 мм.

Основные параметры волокон согласно новой редакции рекомендации G.657 приведены в таблицах 1

Таблица 1

Параметры волокон G.657.A							
Параметр	Примечание	Значение					Единица
Диаметр модового поля	Длина волны	1 310					нм
	Значения	8.6-9.2					мкм
	Допуск	±0.4					мкм
Диаметр оболочки	Номинал	125.0					мкм
	Допуск	±0.7					мкм
Потери на макроизгибах		ITU-T		ITU-T G.657.A2			
	Радиус	15	10	15	10	7.5	мм
	Число витков	10	1	10	1	1	
	Макс., 1 550	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5	дБ
	Макс., 1 625	1.0	1.5	0.1	0.2	1.0	дБ
Параметры кабеля							
Коэффициент затухания	Максимум в диапазоне 1310 - 1625 нм			0.40		дБ /км	
	Максимум на длине 1383 ± 3 нм			0.40		дБ /км	
	Максимум в диапазоне 1530-1565 нм			0.30		дБ /км	

Таблица 2

Параметры волокон G.657.B								
Параметр	Примечание	Значение						Единица
Диаметр модового поля	Длина волны	1 310						нм
	Значения	8.6-9.2						мкм
	Допуск	±0.4						мкм
Диаметр оболочки	Номинал	125.0						мкм
	Допуск	±0.7						мкм
Потери на макроизгибах		ITU-T G.657.B2			ITU-T			
	Радиус	15	10	7.5	15	10	7.5	мм
	Число	10	1	1	1	1	1	
	Макс., 1 550	0.03	0.1	0.5	0.03	0.08	0.15	дБ
	Макс., 1 625	0.1	0.2	1.0	0.1	0.25	0.45	дБ
Параметры кабеля								
Коэффициент затухания	Максимум в диапазоне 1310 - 1625 нм				0.40		дБ/км	
	Максимум на длине 1383 ± 3 нм				0.40		дБ/км	
	Максимум в диапазоне 1530-1565 нм				0.30		дБ/км	

Стоит отметить, что при существующем критерии степени изгиба волокна по "радиусу изгиба", многие путаются, думая, что чем больше значение радиуса изгиба, тем больше изгиб. На самом деле все наоборот – чем больше радиус изгиба, тем фактически этот изгиб меньше.

Для наглядности понимания отличий подкатегорий волокон, ниже приведены графики зависимости потерь на макроизгибе от радиуса изгиба для каждой подкатегории ОВ.

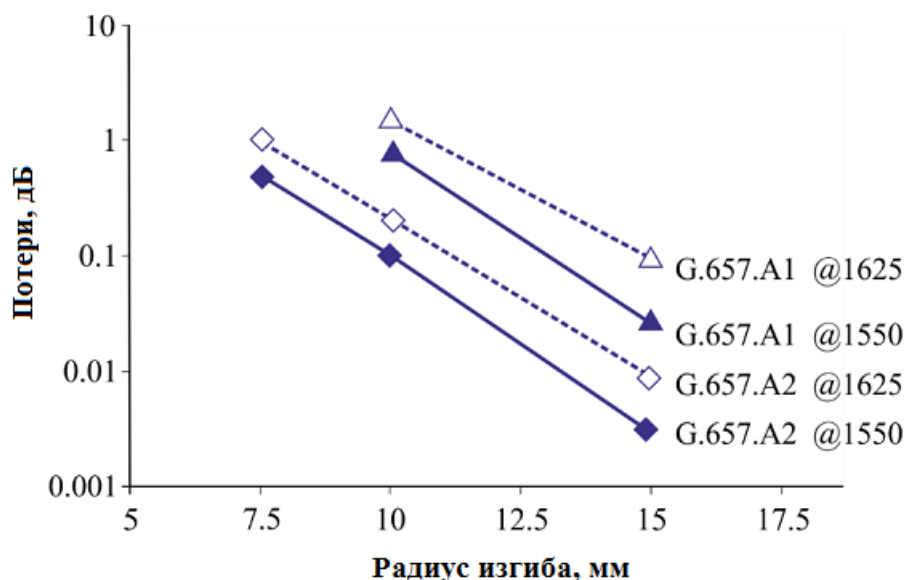


Рис. 3 – Потери на макроизгибах ОВ G.657.A на разных длинах волн

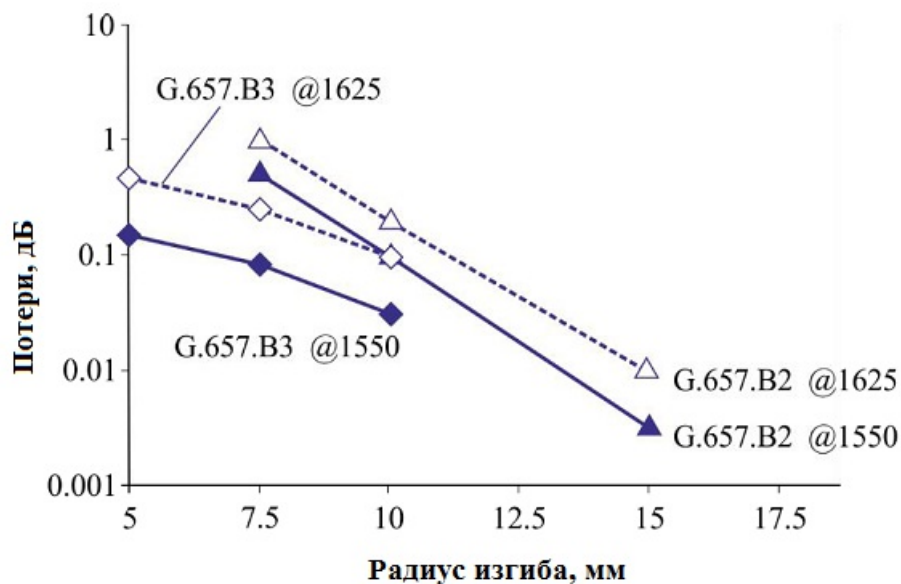


Рис. 4 – Потери на макроизгибах ОВ G.657.B на разных длинах волн

Как видно из представленных графиков, волокна G.657.A2 и G.657.B1 имеют одинаковое значение потерь на изгибе.

Варианты реализации оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах

В настоящее время существует ряд подходов реализации оптических волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах:

- оптическое волокно с уменьшенным диаметром сердцевины;
- оптическое волокно с уменьшенным показателем преломления оболочки;
- оптическое волокно с двухслойной оболочкой;
- оптическое волокно с воздушными полостями в оболочке;
- оптическое волокно с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки;
- наноструктурированное оптическое волокно;
- фотонно-кристаллическое оптическое волокно;
- оптическое волокно с фотонной запрещенной зоной.

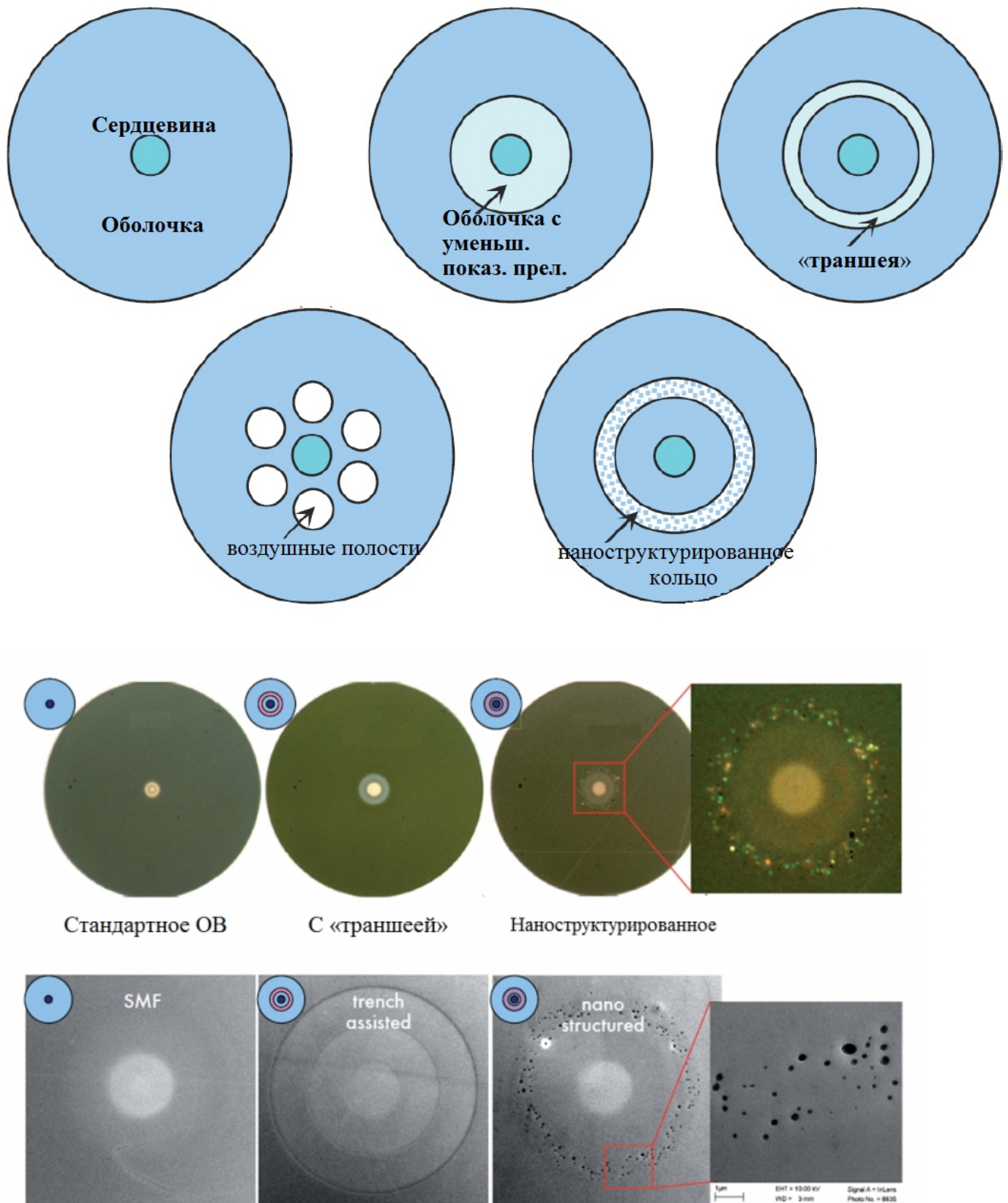


Рис. 5 – Типы волокон с уменьшенными потерями на макроизгибах

Оптическое волокно с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки. Данный тип волокна соответствует классу B2 стандарта G.657 и является совместимым с волокнами стандарта G.652. При изготовлении данных ОВ кольцевая область оболочки дополнительно легируется присадками, понижающими показатель преломления.

Исследования показали, что с увеличением ширины кольца происходит уменьшение потерь на изгибе. Однако при значительном увеличении ширины кольца или количества колец увеличивается критическая длина волны. Данное обстоятельство может привести к несовместимости таких волокон со стандартными ОВ G.652.

Наноструктурированные волокна. В структуру данного волокна входит сердцевина, легированная германием, и оболочка, содержащая наноструктурированную область в форме кольца. В отличие от рассмотренных выше волокон с кольцевой неоднородностью показателя преломления оболочки, у которых толщина кольца составляет примерно 1 мкм, наноструктурированные волокна содержат вокруг сердцевины воздушные полости диаметром менее 200 нм. При этом данные нано отверстия располагаются хаотически.

Оптическое волокно с воздушными полостями в оболочке (HAF). При изготовлении данных волокон вокруг сердцевины располагают уже крупные воздушные полости в форме кольца (см. рис. 6). Граница раздела стекло/воздух обеспечивает в местах макроизгиба ОВ более благоприятный режим для эффекта полного внутреннего отражения, соответственно потерь энергии сигнала становится меньше. Данные волокна являются полностью совместимыми с волокнами стандарта G.652D. Недостаток данных волокон заключается в том, что воздушные отверстия могут осложнить монтаж, например, коннекторов: попадание пыли и грязи в полости приведет к ухудшению оптических характеристик разъемных соединений.

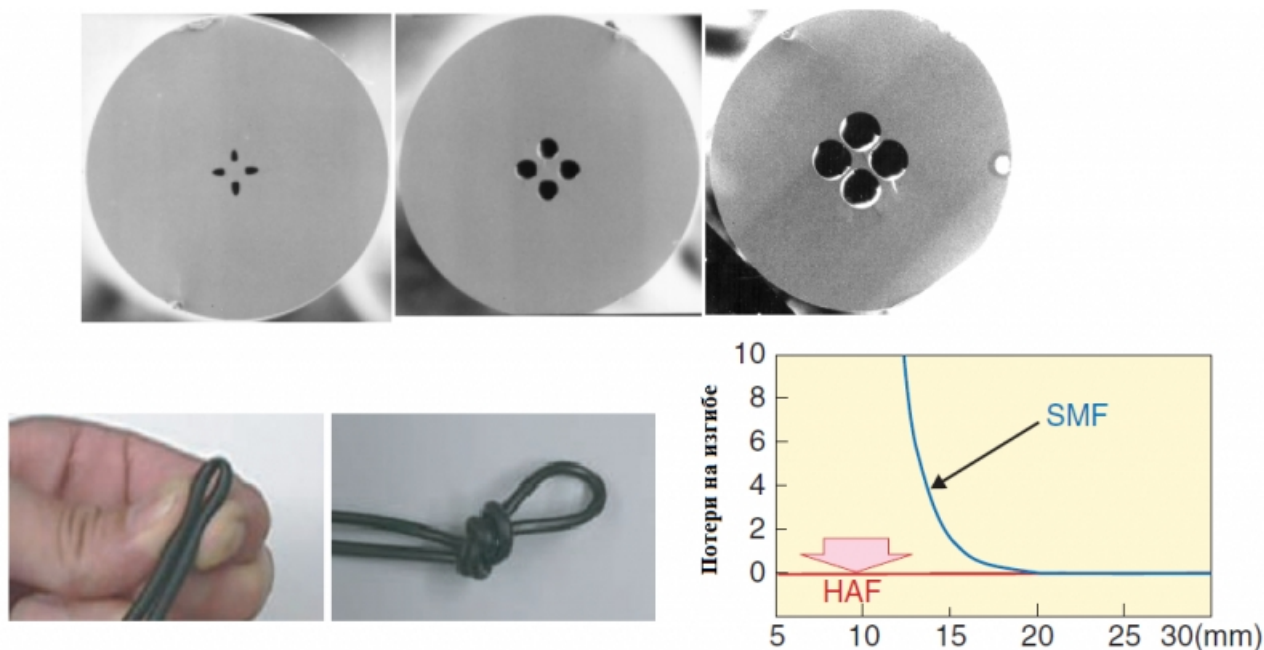


Рис. 6 – HAF волокна

Фотонно-кристаллическое волокно (Photonic crystal fiber, PCF). Как видно из рисунка 7, в фотонно-кристаллическом волокне нет традиционной сердцевины; оптическая направляющая система образуется за счет наличия в структуре волокна нескольких десятков отверстий. Фотонно-кристаллическое волокно способно передавать оптическое излучение в одномодовом режиме в очень широком диапазоне длин волн: от видимой части спектра до инфракрасной. Изменяя размер и расположения воздушных отверстий, можно добиваться различных дисперсионных характеристик волокна.

Еще одной особенностью данного волокна является то, что оно может быть сформировано с использованием только одного материала – кварцевого стекла. Несмотря на отсутствие сердцевины, значение коэффициента затухания фотонно-кристаллических волокон находится на уровне значений стандартных одномодовых волокон SMF.

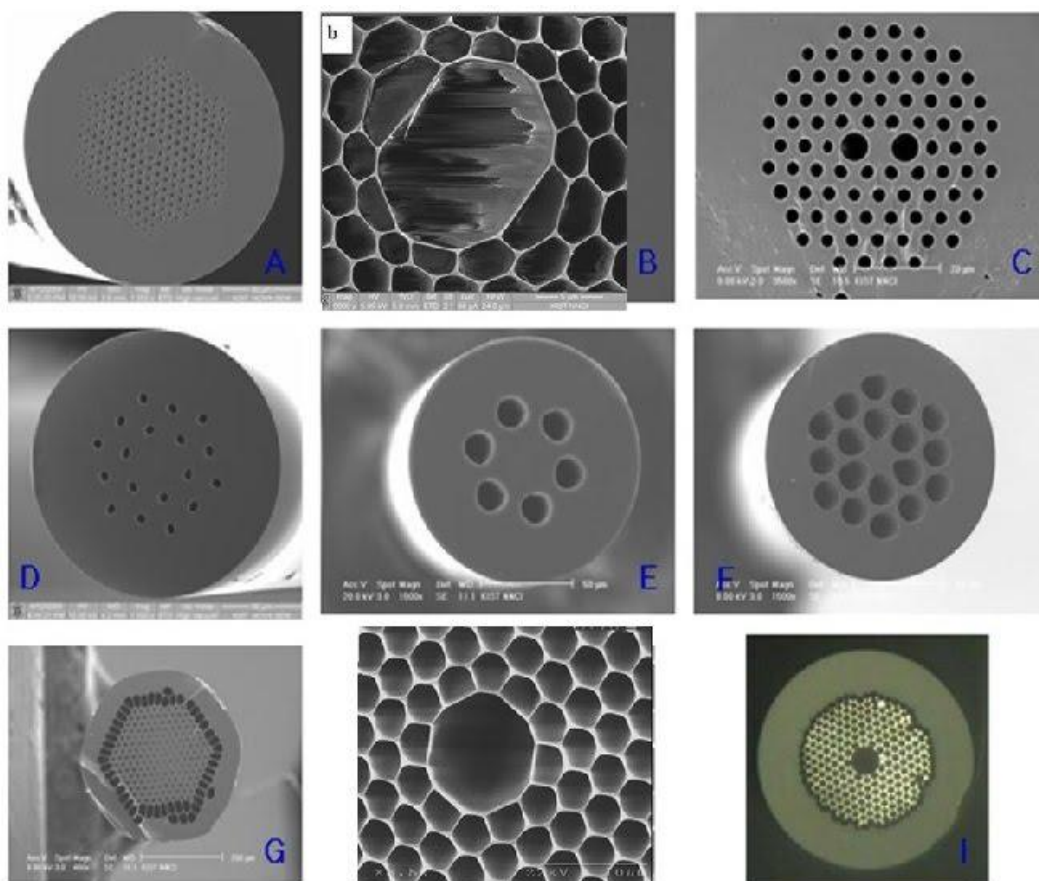
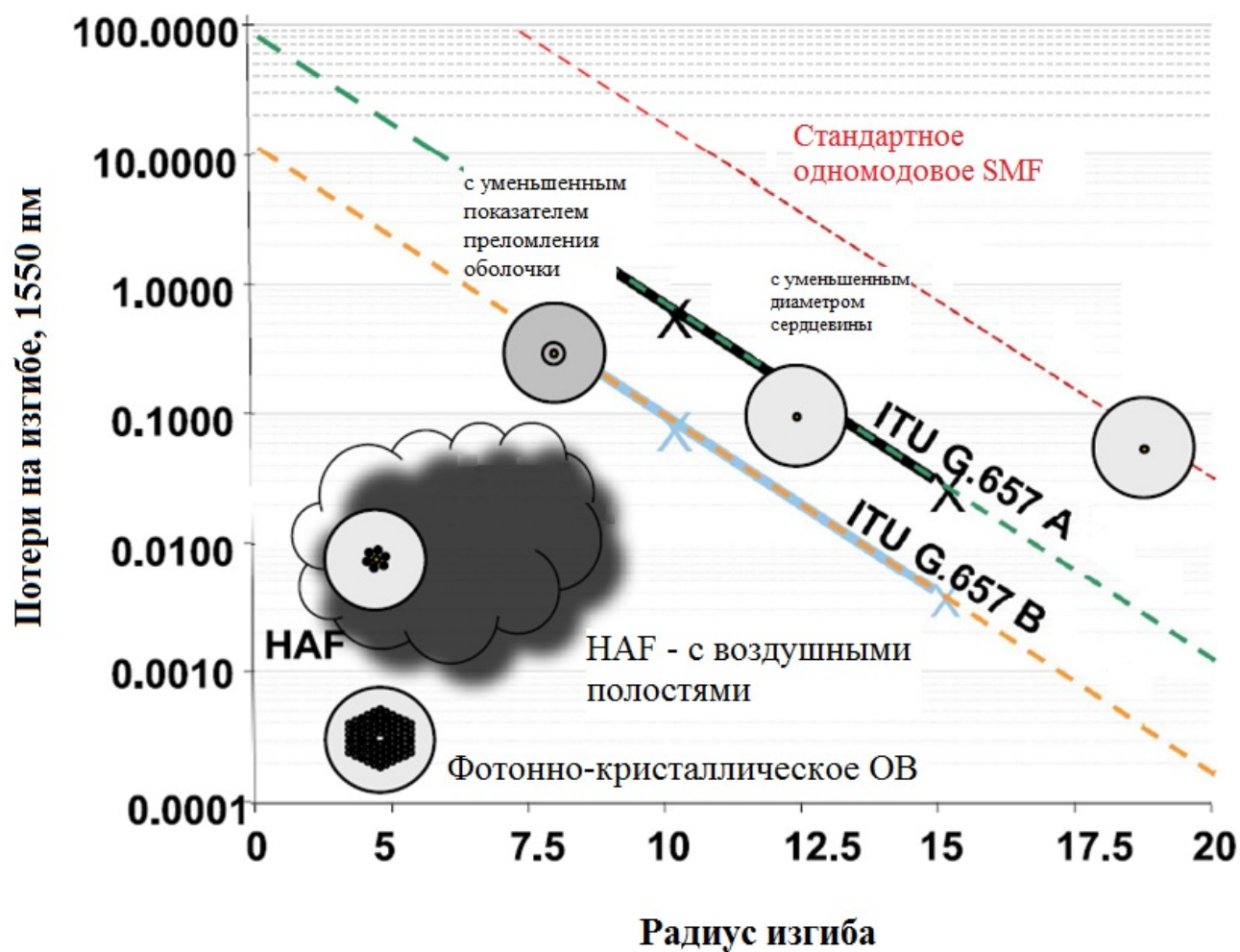


Рис. 7 – Фотонно-кристаллические волокна

На рисунке ниже представлен график зависимости потерь на макроизгибе от радиуса изгиба для различных типов волокон.

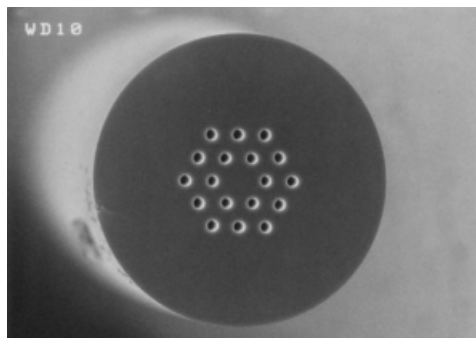


Фотонно-кристаллическое волокно имеет в 500 раз меньшие потери на микроизгибе, чем стандартное одномодовое волокно, в 100 раз меньшие потери, чем волокно с двойной оболочкой, и приблизительно в 10 раз меньшие потери, чем оптическое волокно с воздушными полостями.

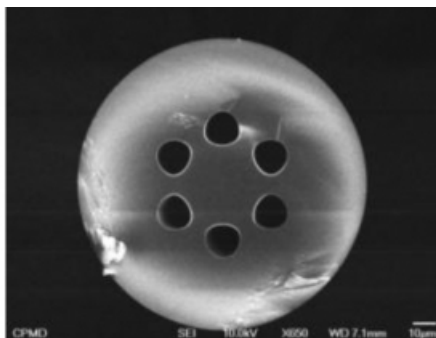
Сегодня все крупные компании по производству волокон выпускают оптические волокна с уменьшенными потерями на макроизгибах. Например, корпорации Sumitomo, Corning, OFS используют различные описанные ранее подходы реализации данных волокон и соответственно выпускают такие волокна под разными марками.

Предлагаю внимательному читателю для интереса поразмыслить над двумя следующими вопросами:

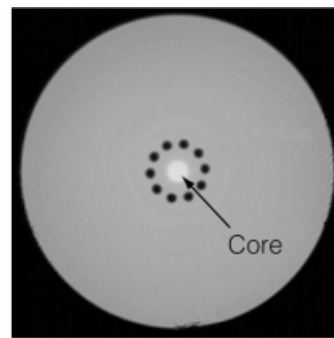
1. Как видно из рис. 3,4 волокна G.657.A2 и G.657.B1 имеют одинаковое значение потерь на изгибе. Зачем тогда относить их к разной подкатегории и путать людей?
2. Постарайтесь угадать представленные на фотографиях типы волокон



а)



б)



в)