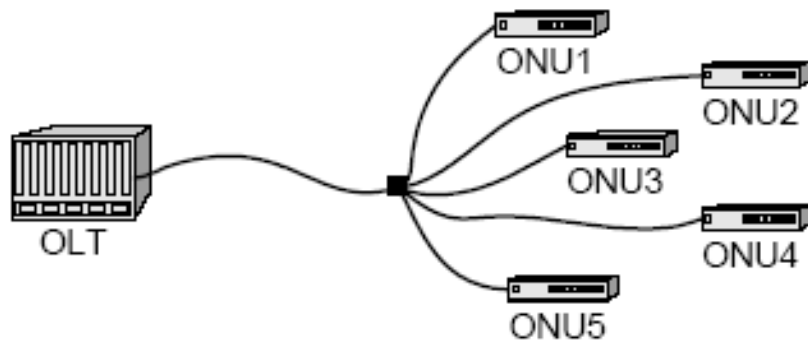
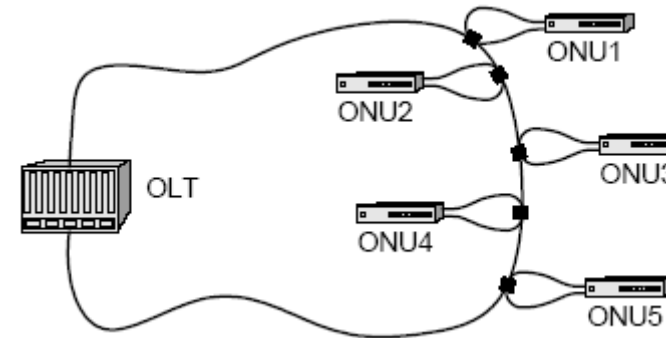


Пассивные оптические сети. Топологии сетей.

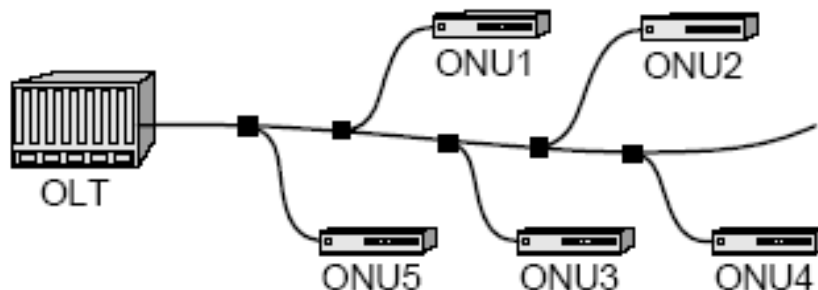
Пассивная оптическая сеть (PON) -это волоконно-оптическая телекоммуникационная технология для предоставления широкополосного доступа к **сети** конечным клиентам. В PON реализуется топология "точка-многоточечная", в которой одно **оптическое** волокно обслуживает несколько конечных точек



Звездная (лучевая)



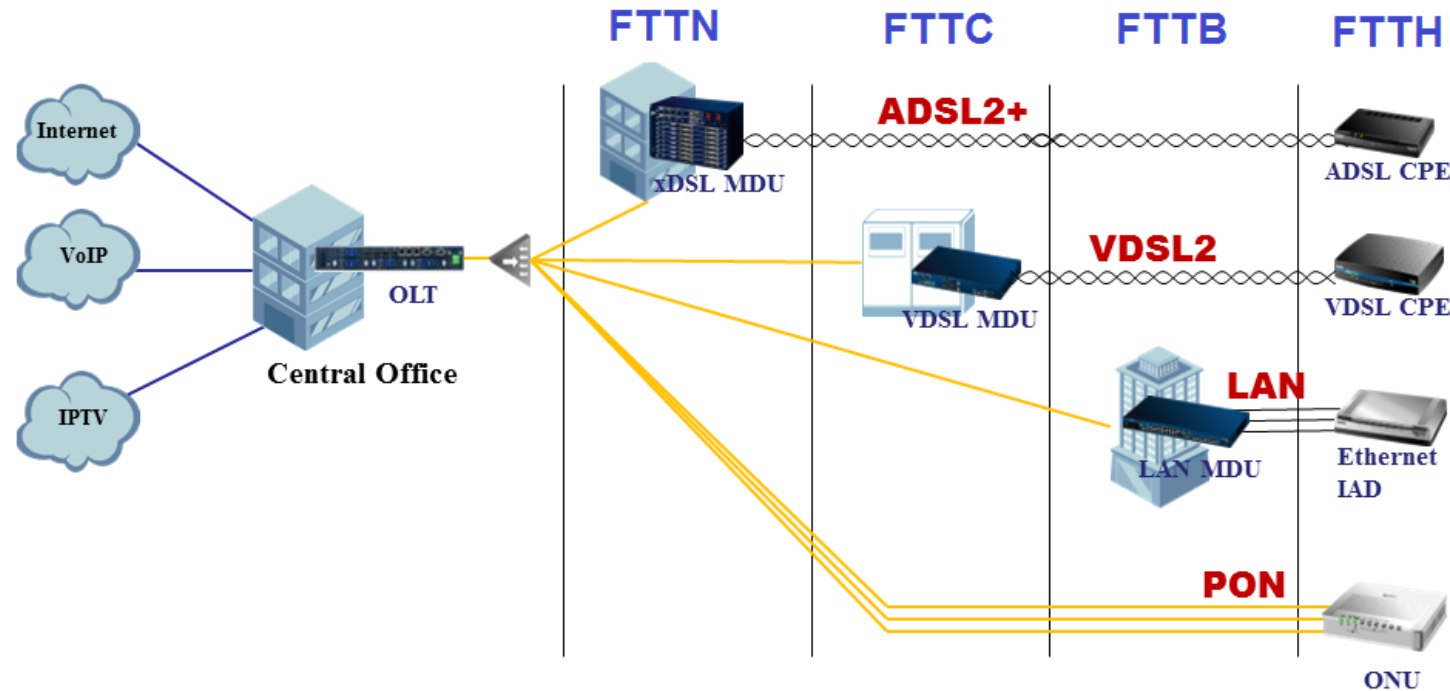
Кольцевая



Шинная

ONU (Optical Network Unit)
OLT (Optical Line Terminal)

Пассивные оптические сети. Разновидности сетей.



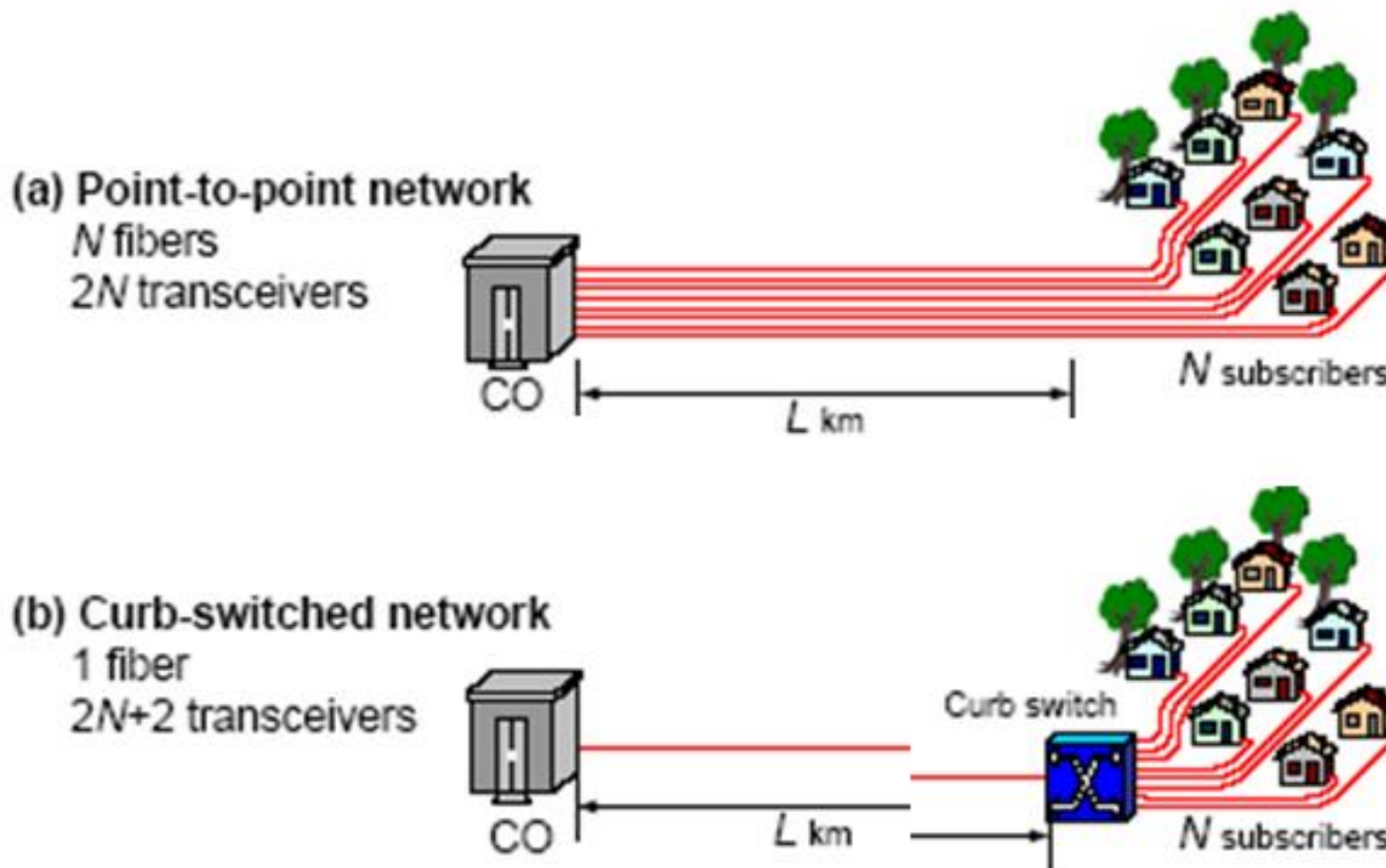
FTTN (*Fiber To The Node*) — оптоволокну до **сетевого узла**, расположенного на расстоянии около 1 км от абонента; далее медный кабель.

FTTC (*Fiber To The Curb*) — оптоволокну до **распределительного шкафа**, расположенного в микрорайоне, квартале или у группы домов на расстоянии около 500 м от абонента;

FTTB (*Fiber To The Building*) — оптоволокну **до здания**, при максимальном удалении абонентов от точки окончания ВОЛС до 100 м; далее – медный кабель.

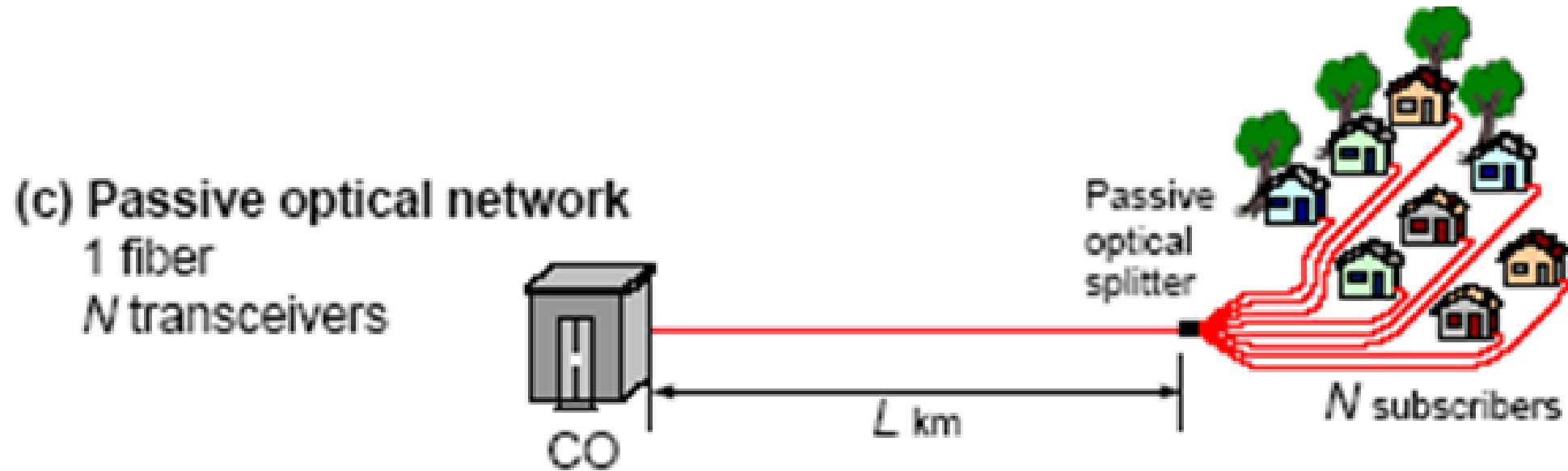
FTTH (*Fiber To The Home*) — оптоволокну **в дом** (подразумевается индивидуальный дом, коттедж, квартира либо офис абонента = **FTTP** (*Fiber To The Premises*) до помещения.

Варианты подключения клиентов к сети.



CO (Central Office); **Curb-Switch** -удаленный шкафной коммутатор;
Splitter – оптический расщепитель.

Варианты подключения клиентов к сети.



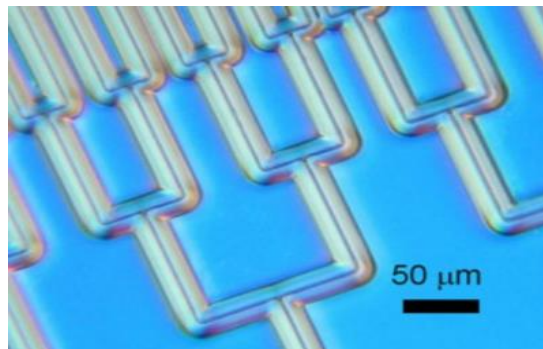
CO (Central Office);

Curb-Switch-удаленный шкафной коммутатор;

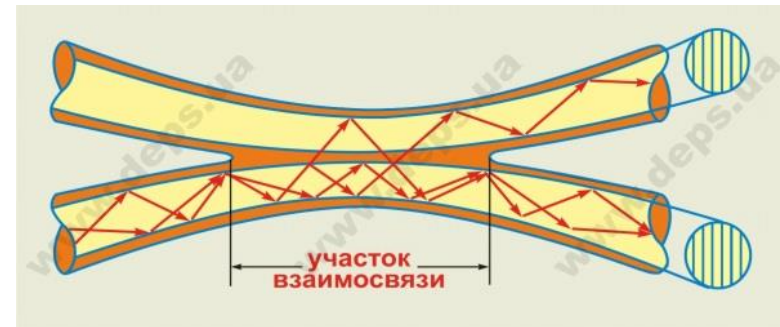
Splitter – оптический расщепитель.

Оптические разветвители (сплитеры)

Сплиттер (разветвитель) это пассивное оптическое оборудование, предназначенное для деления или объединения мощности оптических сигналов. Сплиттеры характеризуются низким уровнем вносимых потерь, широкой полосой пропускания, стабильностью характеристик, высокой надежностью.



А) Планарные



Б) Сплавные

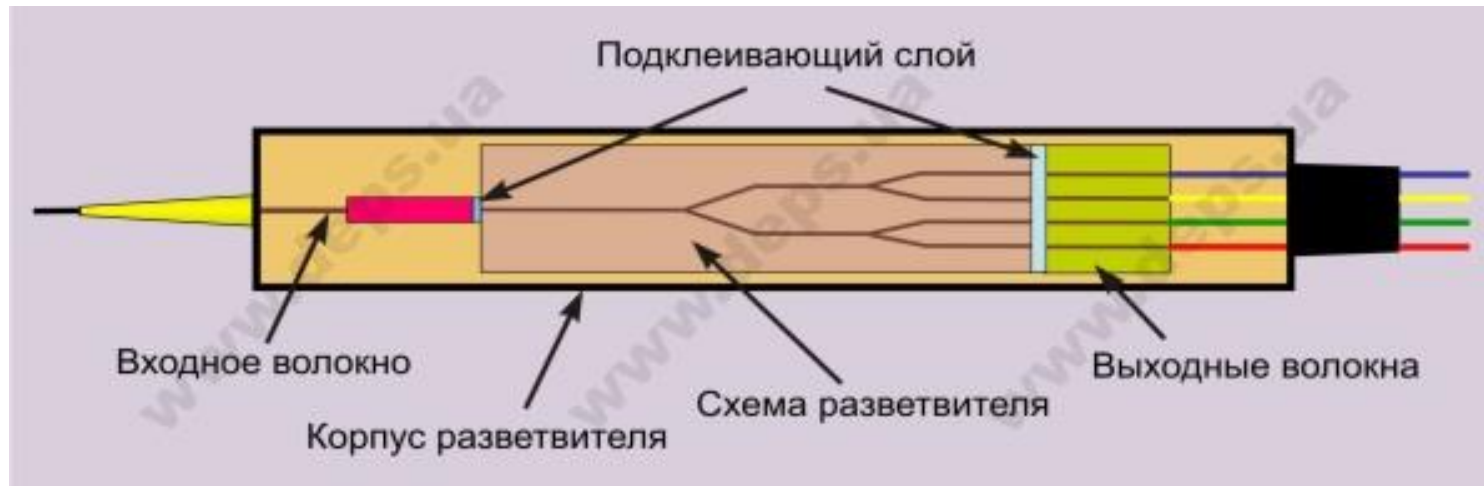
Многовыходные оптические разветвители

Разветвители бывают двух типов:

- симметричные (**Х-образные**), простейший из них типа 2х2 (2 входа и 2 выхода);
- несимметричные (**У-образные**), простейший из них типа 1х2 (1 вход и 2 выхода).

Наиболее часто используются У-образные оптические разветвители. Они бывают различной конфигурации: 1 × 2; 1 × 4; 1 × 8 ; 1 × 32.

Место ввода или вывода оптического излучения **называют оптическим портом**.



Планарные оптические разветвители (сплитеры)

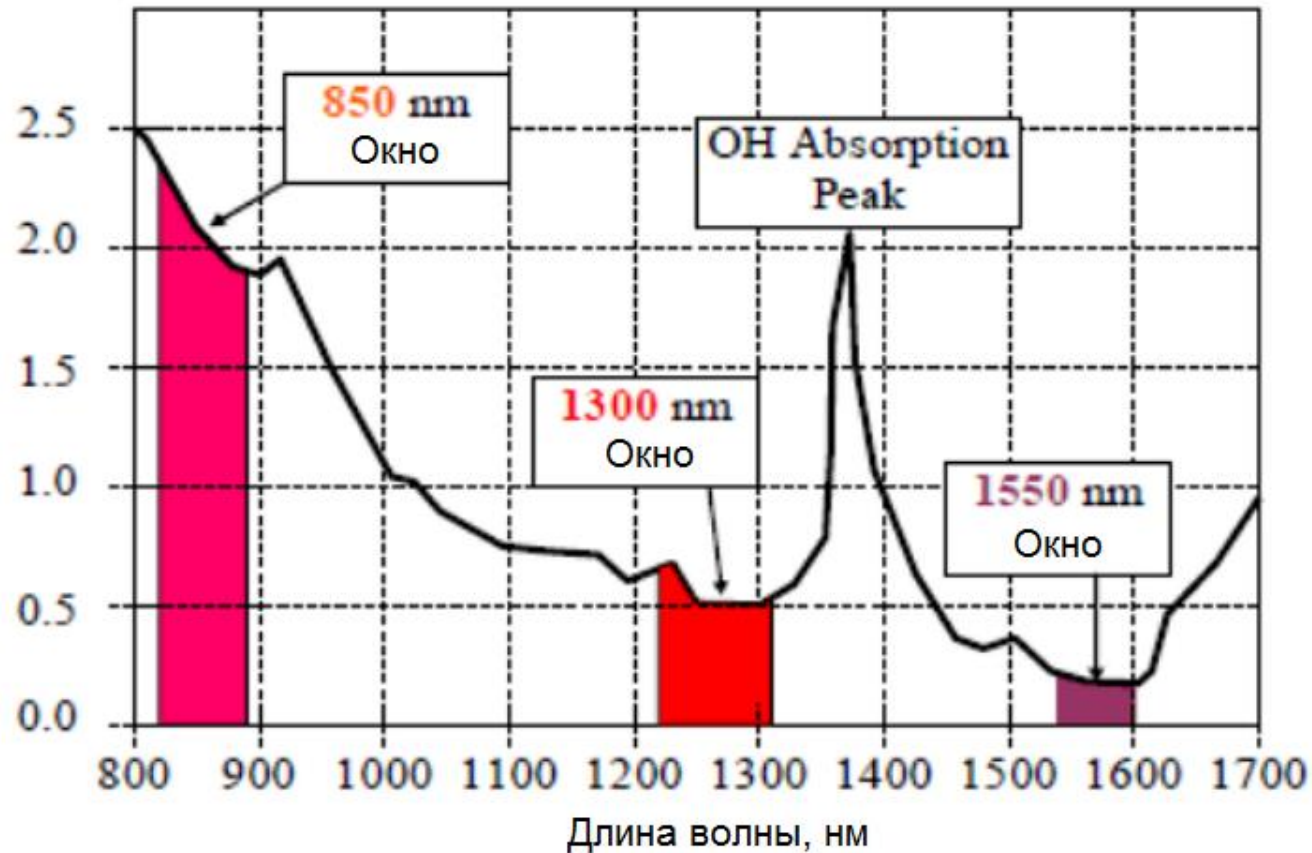
Планарные разветвители (Planar Lightwave Circuit, PLC). Такие устройства выполняются методами интегральной оптики. На кремниевой подложке химически осаждаются поочередно слои с материалами сердцевины и оболочки, после чего через маску вытравливается планарный волновод необходимой конфигурации, который также покрывается материалом отражающей оболочки. Так формируется планарный волновод с разветвлением (как правило, равномерным) оптической мощности 1:2. Устройства с большим количеством выходных портов формируются последовательным каскадированием делителей 1:2. В результате образуется практически оптическая микросхема, к которой присоединяются входные и выходные волокна.



Параметры оптических разветвителей

ОР характеризуется **центральной длиной волны (Central wavelength)**, номинальной, на которой он будет работать.

Затухание, Дб/км



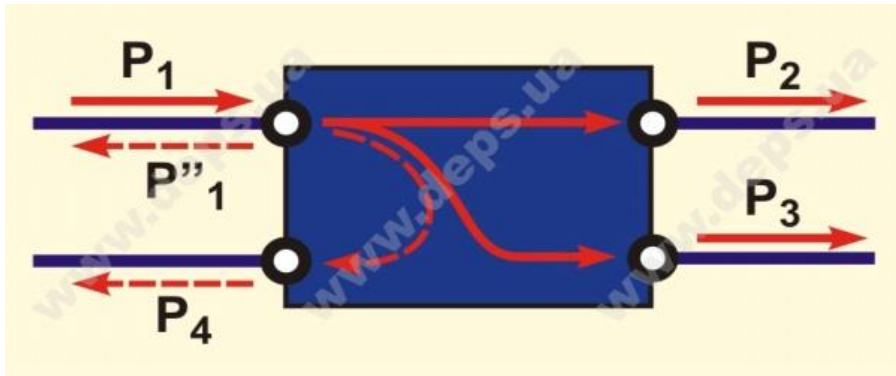
В качестве центральной выбирают длину волны **1310 нм** или **1550 нм** (в однооконных разветвителях) или обе эти длины волны (в двухоконных ОР).

Возле центральной длины волны определяется **рабочий диапазон длин волн (Operating wavelength range)**, в пределах которого передаточные параметры будут соответствовать нормативным значениям.

Ширина диапазона длин волн характеризует качество технологии их производства. Обычно производители определяют для своих оптических разветвителей диапазон не менее **± 40 нм** от центральной длины волны.

Параметры оптических разветвителей

Важнейшим параметром, характеризующим передаточные свойства ОР, являются **вносимые потери** (*Insertion Loss*), показывающие, насколько затухает сигнал, проходя из входного порта 1 в выходные 2 и 3:

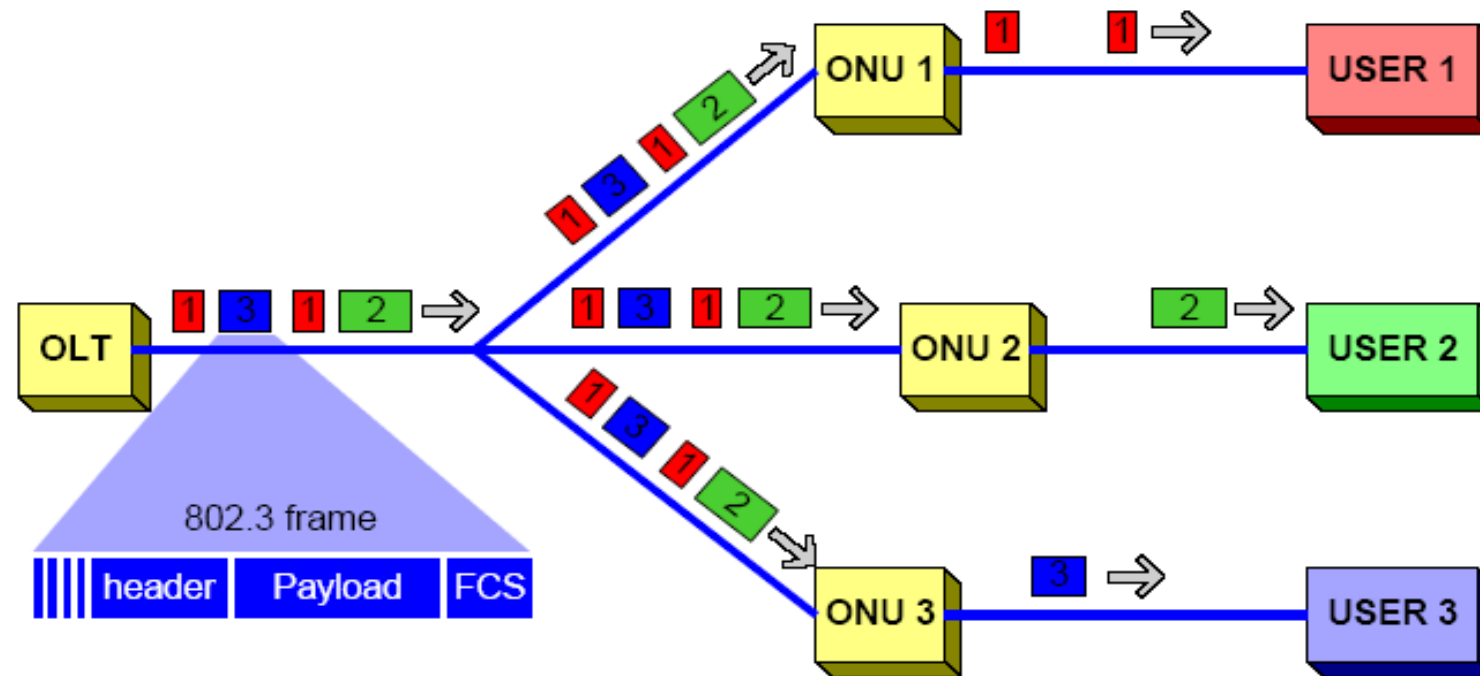


$$IL_{1,2} = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дБ} \quad \text{или} \quad IL_{1,3} = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_3}, \text{ дБ}$$

В ОР мощность между выходными портами может делиться не равномерно, а с **коэффициентом деления** (*Splitting ratio*), который показывает процентное деление мощности между выходными портами:

$$R_S = \frac{P_3}{P_2 + P_3}, \%$$

Схема информационных потоков в PON вниз

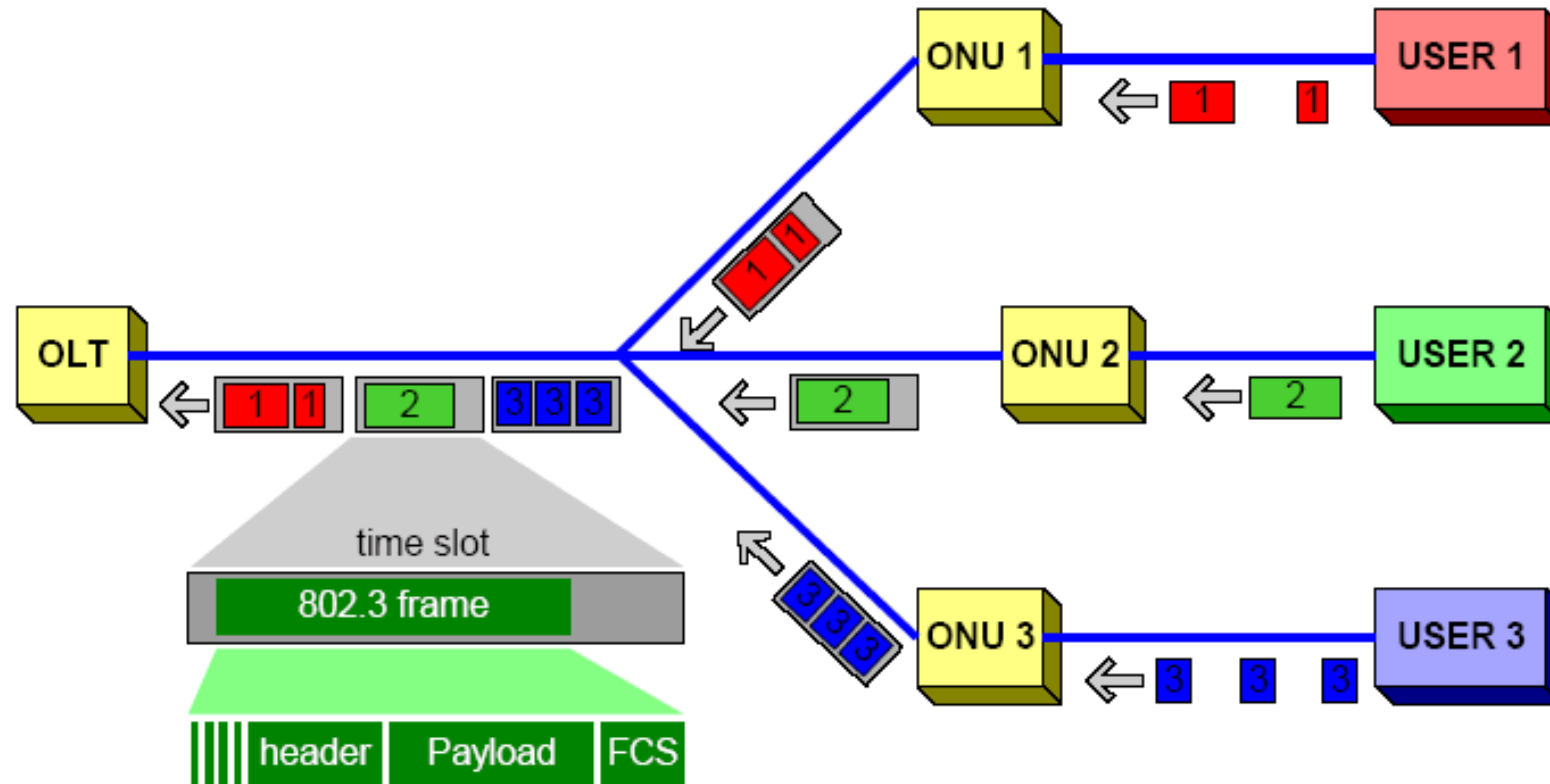


При передаче вниз все ONU **синхронизируются** от общего времязадающего источника и каждому ONU выделяется определенный **временной домен**. Каждый домен может использоваться для передачи нескольких кадров Ethernet. ONU открывает входное окно в только в момент домена, выделенного для его кадра.

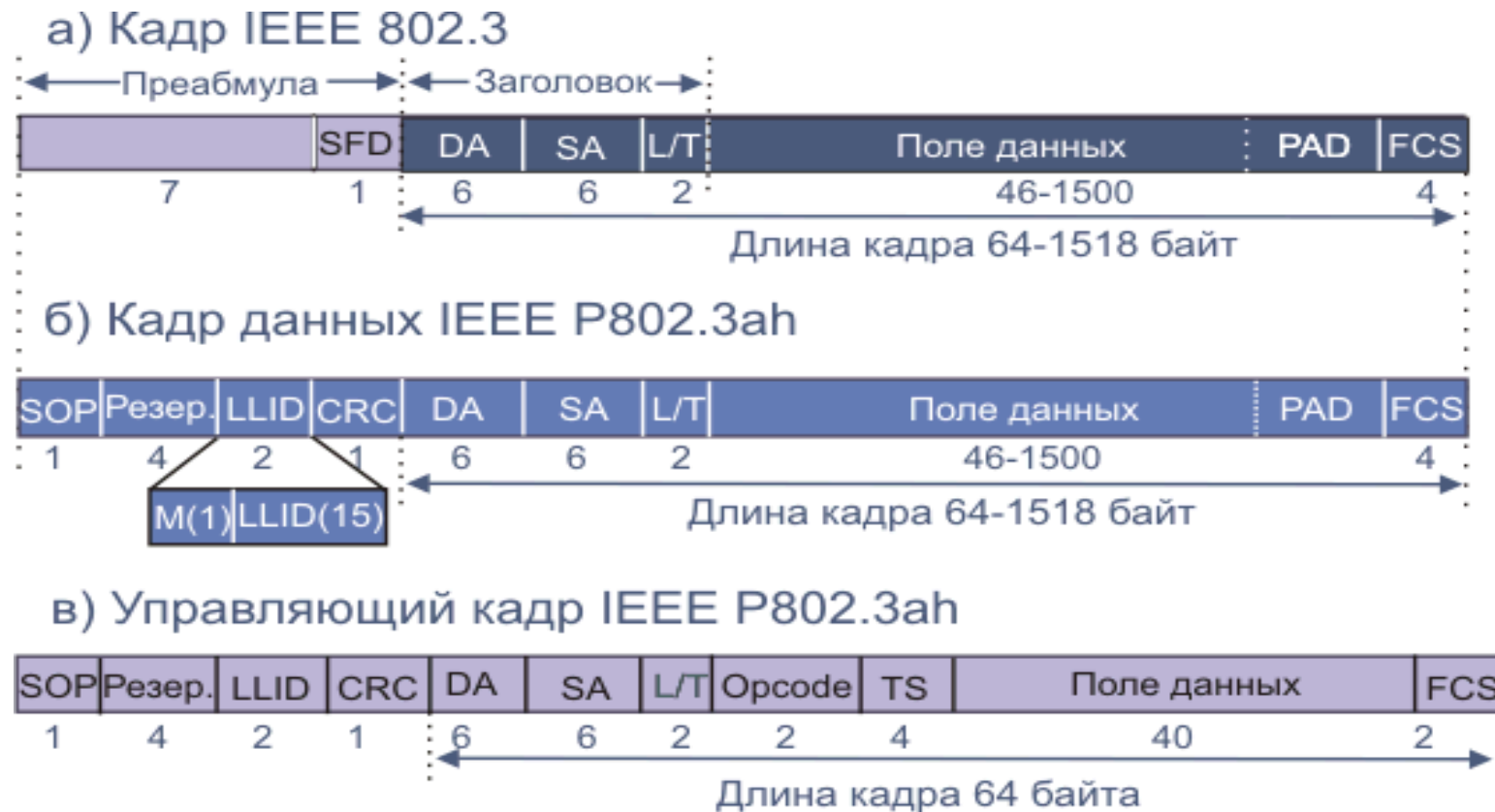
Для дуплексной связи используются два волокна.

Схема информационных потоков в PON вверх

При передаче вверх все ONU **синхронизируются** от общего времязадающего источника и каждому ONU выделяется определенный **временной домен**. Каждый домен может использоваться для передачи нескольких кадров Ethernet. ONU должен буферизовать полученные от клиента кадры до тех пор, пока не придет его временной домен.



Формат кадров в EPON



SOP (Start of Packet) – 1 байт; **M(1)** – указатель: **уникаст** или **мультикаст**;
LLID (Logical Link Identifier), указывает индивидуальный идентификатор узла EPON;
TS (Time Stamp) – 4 байта, временная метка отправителя;
L/T (Length/Type) – 2 байта. **Opcode** (optional code), уточняет тип управляющего кадра;

Схема организации PON



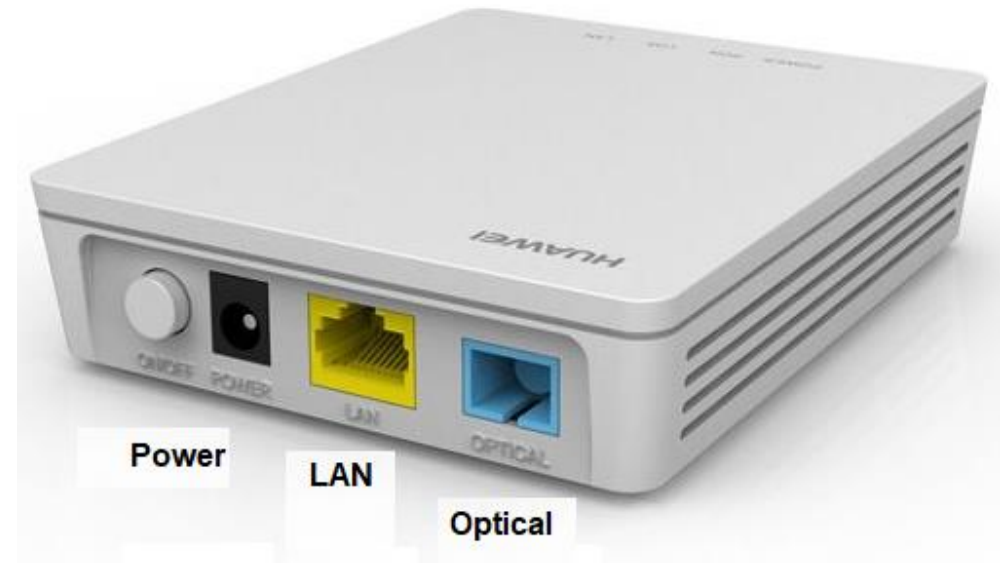
ONU (Optical Network Unit) – оптический терминал **в пассивных сетях FTTH** (*Fiber To The Home*)

В качестве оконечного устройства в пассивных оптических сетях может использоваться **оптический терминал** или **оптический маршрутизатор**.

Оптический терминал, он же **Оптоволоконный модем** — часть GPON-системы, являющаяся одновременно конечной точкой и преобразователем лазерных импульсов в электрические.

Он представляет собой **медиаконвертер** для пассивной оптики, имеющий WAN-порт с разъёмом **SC**, несколько LAN-портов и опционально телефонный разъём для подключения стационарного телефона.

Может иметь встроенный коммутатор на несколько портов **Fa 100, GE-100/1000**.



Оптический WiFi-маршрутизатор

Маршрутизатор имеет оптический вход со скоростью передачи до **2,5 Гбит/с**, беспроводную точку доступа с частотами **2,4 ГГц** или **5 ГГц**, коммутатор с несколькими интерфейсами **Fa 100** и (или) **GE-100/1000**, а также USB интерфейс, интерфейс для подключения кабельного телевизора.



Бюджет оптической мощности

При передаче оптических сигналов по ОВЛ происходит их ослабление (затухание). ВОЛС должна быть рассчитана т.о., чтобы после затухания мощности сигнала на выходе ЛС должно хватить для срабатывания приемника. Т.е. мощность передатчика должна быть выше потерь, существующих на пути распространения оптического сигнала.

Минимальная мощность сигнала, при которой приемник еще в состоянии их различать, называется **чувствительностью** приемника.

Расчеты затухания оптического сигнала выполняются для оптической линии от точки подключения волокна на активном оборудовании (на передатчике) до самого удаленного абонента (на приемнике). **Допустимые потери оптического сигнала** на всём пути от передатчика до приёмника называют **оптическим бюджетом**.

С учетом чувствительности приемника, оптический бюджет будет определяться двумя параметрами: **минимальной чувствительностью ONT-терминала** (в дБм) и **максимальной передаваемой мощностью OLT-терминала** (также выраженной в дБм).

Оптический бюджет линии напрямую зависит от параметров используемого оборудования, а, именно, оконечных **ONT** и **OLT**-терминалов. **ONT**-терминалы находятся на стороне абонентов, **OLT**-терминал устанавливается на стороне провайдера.

Бюджет оптической мощности

В пассивной сети PON **источниками потерь** являются:

- **полное затухание в оптическом волокне**: зависит от коэффициента затухания;
- **полные потери в сростках (сварные соединения)**: зависят от потерь в каждом сростке и их общего количества;
- **полные потери в соединителях** (разъёмные соединения): зависят от потерь в каждом соединителе и их общего количества;
- **потери в разветвителях волокон**: зависят от коэффициента разветвления;
- **штрафные потери**: потери **на изгибах** волокна при прокладке;
- **эксплуатационные потери**: потери **на дополнительных сростках** и кабельных вставках при проведении ремонтных работ.

Допустимые потери оптического сигнала на всём пути от передатчика до приёмника называют **оптическим бюджетом**. Поэтому бюджет количественно представляет собой **сумму всех потерь на пути от передатчика до приемника**. Т.е. **мощность передатчика должна быть выше этих потерь**.

Бюджет оптической мощности

Расчет бюджета производят **по самой длинной линии** для каждого узла.

При расчетах учитываются следующие параметры вносимых в линию потерь:

- коэффициент затухания волокна на длине волны 1310 нм: от 0,34 до 0,4 дБ/км;
- неразъёмные соединения (сварные): от 0,05 до 0,07 дБ;
- разъёмные соединения (коннекторы): от 0,15 до 0,3 дБ;
- штрафные потери и эксплуатационный запас: от 1,5 до 3,0 дБ.

Важно учитывать коэффициент деления оптического сигнала в разветвителях:

1x2: от 3,4 до 3,5 дБ;

1x4: от 7,0 до 7,2 дБ;

1x8: от 10,3 до 10,7 дБ;

1x16: от 14,1 до 14,4 дБ;

1x32: от 16,9 до 17,5 дБ.

Бюджет оптической мощности

Бюджет мощности считается для 2-х длин волн как **разница** между минимальным уровнем передатчика и чувствительностью приемника:

A1490 (B+/B+) = $P_{OLToutMin} - P_{ONTinMin} = 1.5 - (-28) = 29,5$ дБ - передача вниз

A1310 (B+/B+) = $P_{ONToutMin} - P_{OLTinMin} = 0,5 - (-28) = 28,5$ дБ - передача
наверх

Для увеличения бюджета мощности на стороне OLT используются SFP модули класса C+, с улучшенными характеристиками, для них бюджет мощности рассчитывается аналогично:

A1490 (C+/B+) = $P_{OLToutMin} - P_{ONTinMin} = 7 - (-28) = 35$ дБ - передача вниз

A1310 (B+/C+) = $P_{ONToutMin} - P_{OLTinMin} = 0,5 - (-32) = 32,5$ дБ - передача
наверх

Бюджет оптической мощности

Минимальное допустимое затухание в линии, при котором сеть будет работать, рассчитывается как разность между максимальным уровнем передатчика и **порогом перегрузки** приемника:

$$L_{1490(B+/B+)} = P_{OLToutMax} - P_{ONTinMax} = 5 - (-4) = 9 \text{ дБ} \quad - \text{ передача вниз}$$

$$L_{1310(B+/B+)} = P_{ONToutMax} - P_{OLTinMax} = 5 - (-8) = 13 \text{ дБ} \quad - \text{ передача вверх}$$

Таким образом, если нужно соединить напрямую OLT и ONT, то нужно использовать **аттенюатор** номиналом не менее 13 дБ, для того чтобы модули не вышли из строя и не было ошибок из-за **перегрузки приемника**.

Бюджет оптической мощности



ПАРАМЕТР	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕДИНИЦЫ	CLASS B+
OLT			
Минимальная мощность ПРД	$P_{OLToutMin}$	дБм	1,5
Максимальная мощность ПРД	$P_{OLToutMax}$	дБм	5
Чувствительность	$P_{OLTinMin}$	дБм	- 28
Порог перегрузки ПРМ	$P_{OLTinMax}$	дБм	- 8
ONT			
Минимальная мощность ПРД	$P_{ONToutMin}$	дБм	0,5
Максимальная мощность ПРД	$P_{ONToutMax}$	дБм	5
Чувствительность	$P_{ONTinMin}$	дБм	- 28
Порог перегрузки ПРМ	$P_{ONTinMax}$	дБм	- 4