

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Динамика развития современных телекоммуникационных сетей выдвигает все более высокие требования к линиям передачи. Это связано с постоянным увеличением спектра предоставляемых услуг и возрастающими требованиями пользователей. На магистральных участках проблема недостаточной ширины канала уже практически решена, а наиболее проблемным участком до сих пор остается «последняя миля», которая является самым узким местом сети, т.к. по низкочастотным кабелям необходимо передавать импульсные сигналы.

Единой точки зрения на устранение этого «бутылочного горлышка» не существует, но можно привести основные направления, по которым идет развитие сетей доступа:

- абонентские линии на основе существующих медных кабелей с использованием технологий xDSL;
- гибридные волоконно-коаксиальные сети;
- сети беспроводного доступа;
- волоконно-оптические сети.

Следует отметить, что из четырех предложенных подходов два имеют ограниченную пропускную способность, связанную с особенностями среды передачи (сети с медными кабелями и беспроводные сети), а третий применяется в основном для предоставления услуг кабельного телевидения (гибридные волоконно-коаксиальные сети). Перспективной является сеть доступа на основе оптоволоконной сети. Если изначально монтаж таких сетей был дорогим и имел сомнительные перспективы (теоретическая пропускная способность многократно превосходила существующие потребности даже с учетом дальнейшего роста), то на сегодняшний день цена на оптоволокно и оптические компоненты сети упала, и использование оптического кабеля на сетях доступа стало перспективным.

Существует множество технологий доступа, таких как оптические модемы, оптический Ethernet, технологии Micro SDH, и, наконец, технология пассивных оптических сетей (PON – Passive Optical Network). Последняя обладает целым рядом преимуществ:

- отсутствием промежуточных активных узлов, требующих отдельного питания;
- экономией оптических приемопередатчиков в центральном узле (основная логика построения сети: «центральный офис» – «абоненты»);
- экономией волокон (на участке от центрального узла до разветвителя используется только одно волокно);
- легкостью подключения новых абонентов и удобством обслуживания (подключение, отключение или выход из строя одного или нескольких абонентских узлов никак не сказывается на работе остальных).

Технология PON, в свою очередь, имеет несколько разновидностей [1]:

APON – ATM PON – на основе технологии ATM;

BPON – Broadband PON – широкополосная PON;

EPON – Ethernet PON – на основе технологии Ethernet;

GPON – Gigabit PON – на основе технологии Gigabit Ethernet.

Для пассивных оптических сетей очень важен, скорее даже критичен для дальнейшей работоспособности сети, этап проектирования. Задача проектирования состоит в необходимости удовлетворить как основные требования (табл. 1), так и дополнительные, которые носят не количественный, а качественный характер. Один из важнейших качественных параметров – это масштабируемость. Масштабируемость – это возможность наращивания сети, добавления новых узлов к уже спроектированной сети с минимальными ее изменениями.

Характеристика	Спецификация
Максимальное расстояние OLT-ONT* по волокну, км	20
Диапазон ослабления сигнала в сети, дБ	Класс А: 5-20 Класс В: 10-25 Класс С: 15-35
Максимальный разброс потерь по оптическим путям, дБ	15
Максимальные штрафные потери, дБ	1
Максимальное число абонентских узлов	32
Возможность двусторонней передачи	WDM по одному волокну или по двум волокнам (на длине 1,3 мкм)
Скорость передачи, Мбит/с	1555/622 в обоих направлениях
Требования к оптическим компонентам	Согласно рекомендации G 671
Тип и параметры волокна	Согласно рекомендации G.652

*OLT – optical line terminal – центральный узел;

ONT – optical network terminal – абонентский узел.

Наиболее сложным в реализации является обеспечение максимального разброса потерь на расстоянии OLT-ONT, в первую очередь за счет того, что оптический приемник может работать лишь в определенном диапазоне (-33...-11 дБм) [3]. Если уровень принимаемого сигнала выходит за этот диапазон, то детектор не обеспечивает заданный уровень ошибок ($BER=10^{-10}$). Потери на отрезке OLT-ONT, состоят из потерь в кабеле, потерь в разветвителях, коннекторах, аттенуаторах и «штрафа», который учитывает ухудшение приема сигнала из-за различных факторов (дисперсии, деградации волокна, внешних условий и т.д.). Потери в прямом (d) и обратном (u) потоках составляют:

$$OB_{d, \text{min}} \leq \alpha_{i,d} \cdot L_i + IL_i + AL + CL_i \leq OB_{d, \text{max}} - \text{Штраф}_i - \text{Запас}_i, \quad (1)$$

$$OB_{u, \text{min}} \leq \alpha_{i,u} \cdot L_i + IL_i + AL + CL_i \leq OB_{u, \text{max}} - \text{Штраф}_i - \text{Запас}_i, \quad (2)$$

где L_i – длина i -го канала; $\alpha_{i,d}$ и $\alpha_{i,u}$ – километрическое затухание в волокне на длине волны прямого и обратного потоков; IL_i – вносимые всеми разветвителями потери в i -м канале; CL_i – потери на всех коннекторах в i -м канале; AL – ослабление сигнала на аттенуаторе; OB – оптический бюджет приемопередающей системы; Запас_i – запас мощности на развитие в i -м канале.

Разброс потерь напрямую связан с неодинаковостью оптических путей, т.е. когда потери на отрезке OLT-ONT, и OLT-ONT, различны. Следует учесть и то, что оптический бюджет системы ограничен, и нерациональное распределение оптической мощности ведет к снижению возможности масштабируемости сети. Также существует дополнительный разброс вследствие допуска значений коэффициентов деления разветвителей.

Единственный доступный способ выравнивания оптических потерь при заданном размещении абонентов – это подбор коэффициентов деления разветвителей. Для небольших сетей могут быть выбраны симметричные разветвители либо произведен приближенный расчет их параметров. Неоптимальность решения в данном случае компенсируется большим запасом по мощности, что непригодно для больших сетей.

При проектировании PON используется понятие сбалансированной сети [2], основанной на равенстве мощности, принимаемой всеми абонентскими узлами. Сбалансированная сеть обладает следующими преимуществами:

- разброс потерь по оптическим путям равен нулю;
- оптический радиус сети $r_{\text{net}} = \max(FL_i)$ минимален для сбалансированной сети

(FL_i – полные потери);

Методика расчета сбалансированной оптической сети заключается в следующем: всем ONT присваивается одинаковое значение входной мощности, сеть рассчитывается «снизу вверх» от ONT к OLT пошагово, от наиболее удаленного ONT (мерой отдаленности в этом случае служит не расстояние, а количество ветвлений на пути OLT-ONT). На каждой итера-

пии определяются значения коэффициентов деления разветвителей, обеспечивающих равную мощность на входных портах ONT. Выходным результатом этого алгоритма являются коэффициенты деления разветвителей, обеспечивающих сбалансированность сети, и оптический радиус сети.

И все же данный метод, несмотря на свою простоту и естественность подхода, имеет несколько существенных недостатков:

- невозможно получить разветвитель, точно соответствующий рассчитанным параметрам;
- реальные вносимые потери по портам в заказанных разветвителях могут отличаться от номинальных на величину неравномерности;
- высокая стоимость изготовления разветвителей «на заказ»;
- необходимость заново рассчитывать коэффициенты деления всех «вышестоящих» разветвителей при наращивании сети, следовательно, заказывать новые разветвители, что экономически невыгодно;
- алгоритм не учитывает возможности планирования так называемых точек роста, когда определенный запас мощности заранее закладывается в точках ветвления для подключения новых абонентов.

Таким образом, большая часть недостатков связана с идеальностью метода, т.е. с отсутствием привязки к реальному оборудованию. В статье предлагается приблизить этот алгоритм к реальным условиям. Так как воплощение идеальной сбалансированной сети на реальном оборудовании невозможно, целесообразно возможный разброс параметров и характеристик заложить в сам алгоритм расчета. Такое предложение обусловлено тем, что приемник работает в диапазоне допустимых значений входной оптической мощности, и отклонение в пределах этого диапазона не влияет на работу приемника. Следовательно, можно обеспечить приблизительное равенство уровней сигналов на входах ONT, получив тем самым квазисбалансированную оптическую сеть: сеть не является сбалансированной, но может считаться таковой, так как все приемники работают в допустимом диапазоне мощности. Разветвители выбираются из базы данных серийно выпускаемых разветвителей, что повышает экономичность проектируемой сети и упрощает замену разветвителей при расширении сети. Предлагается также заложить в проектируемую сеть точки роста для упрощения дальнейшего наращивания сети.

Алгоритм расчета квазисбалансированной сети представлен на рис. 1 и аналогичен алгоритму построения сбалансированной сети. Различие состоит в том, что при расчете разветвителя определяется, есть ли возможность подбора разветвителя с заданными коэффициентами деления с сохранением требуемых уровней мощности на входе элементов нижнего уровня из списка серийно выпускаемых разветвителей. Если такой возможности нет, один разветвитель заменяется несколькими, элементы, подключенные к нему, группируются по значениям мощности, соответствующих пропорциям существующих коэффициентов деления. При вычислении мощности на входе разветвителя учитываются потери, вносимые разветвителем.

Для сравнения алгоритмов построения сбалансированной и квазисбалансированной PON был проведен расчет пассивной оптической сети произвольной топологии. На рис. 2 и 3 приведена произвольная пассивная оптическая сеть, указаны значения мощности в характерных ее точках, в левом нижнем углу каждого элемента сети указан его уровень m , характеризующий удаление от OLT. На этих рисунках также приведены длины соединительных линий. На рис. 2 приведен результат расчета сбалансированной пассивной оптической сети. Значения коэффициентов деления приведены в табл. 2.

На рис. 3 приведен результат расчета квазисбалансированной пассивной оптической сети точно такой же топологии. Коэффициенты деления разветвителей для этой сети приведены в табл. 3. Атенюаторами на участках S6-1 – S6-2 (1,8 дБ), S2-2 – S4 (0,5 дБ), S3-1 – S6-1 (0,1 дБ) и S1-2 – S1-2 (0,4 дБ), предложенными в ходе расчетов для сохранения равенства уровней на входе ONT (как и аттенюатором на участке S1-1 – ONT-1 (0,8 дБ)), можно пренебречь, так как незначительное увеличение мощности сигнала не приведет к переходу оп-

тического приемника ONT в режим насыщения. Для других случаев необходимы не оценочные, а точные расчеты.

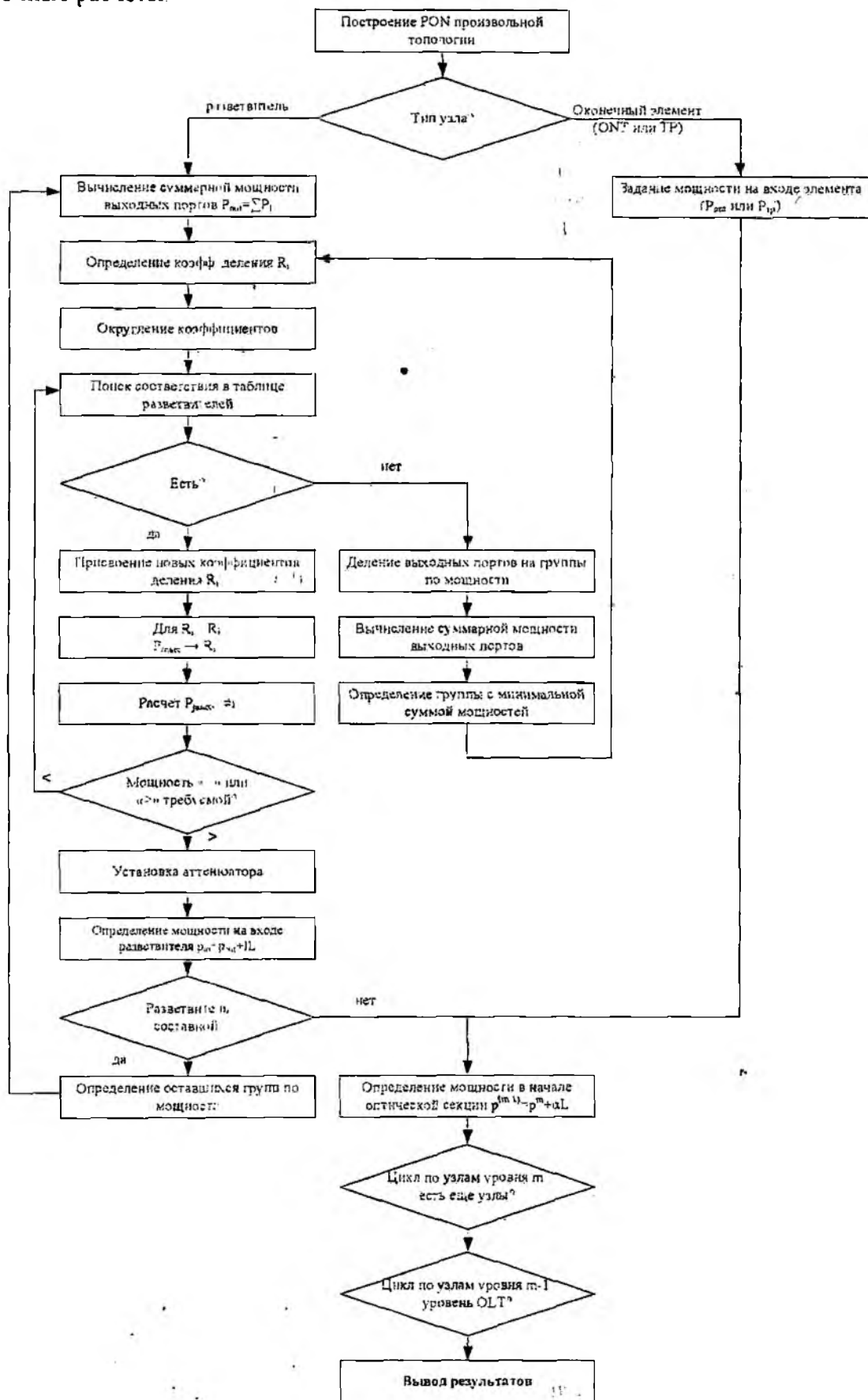


Рис 1

Разветвитель	Коэффициенты деления разветвителей (слева направо согласно рис 2)
S1	0,001/0,73/0,26
S2	0,01/0,03/0,06/0,9
S3	0,9/0,05/0,05
S4	0,52/0,48
S5	0,36/0,32/0,32
S6	0,94/0,03/0,03

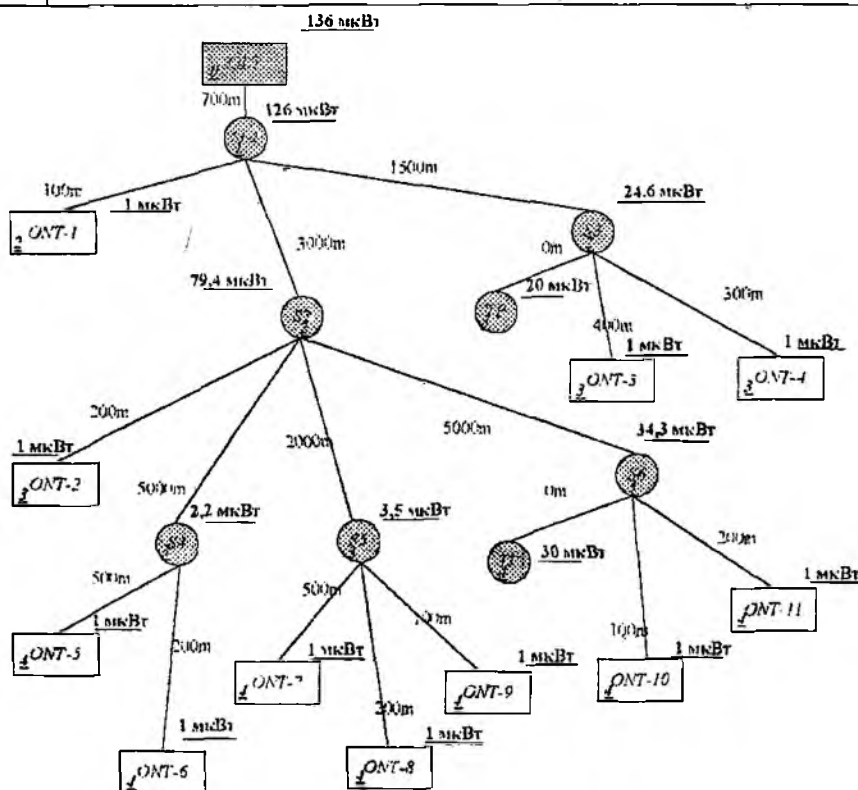


Рис 2

Таблица 3

Разветвитель	Коэффициенты деления разветвителей (слева направо согласно рис 3)
S1-1	0,01/0,99
S1-2	0,8/0,2
S2-1	0,15/0,85
S2-2	0,1/0,45/0,45
S3-1	0,9/0,1
S3-2	0,5/0,5
S4	0,5/0,5
S5	0,33/0,33/0,33
S6-1	0,9/0,1
S6-2	0,5/0,5

Из анализа данных, полученных двумя разными методами расчета можно сделать вывод, что квазисбалансированная сеть требует большей мощности передатчика на QLT. Это объясняется тем, что часть мощности теряется в аттенуаторах, необходимых для выравнивания мощностей на ONT, и часть мощности расходуется на потери, вносимые разветвителями (в случае замены одного разветвителя составным). Можно сказать, что часть мощности резер-

вируется за счет аттенуаторов и может быть использована для внепланового подключения новых абонентов.

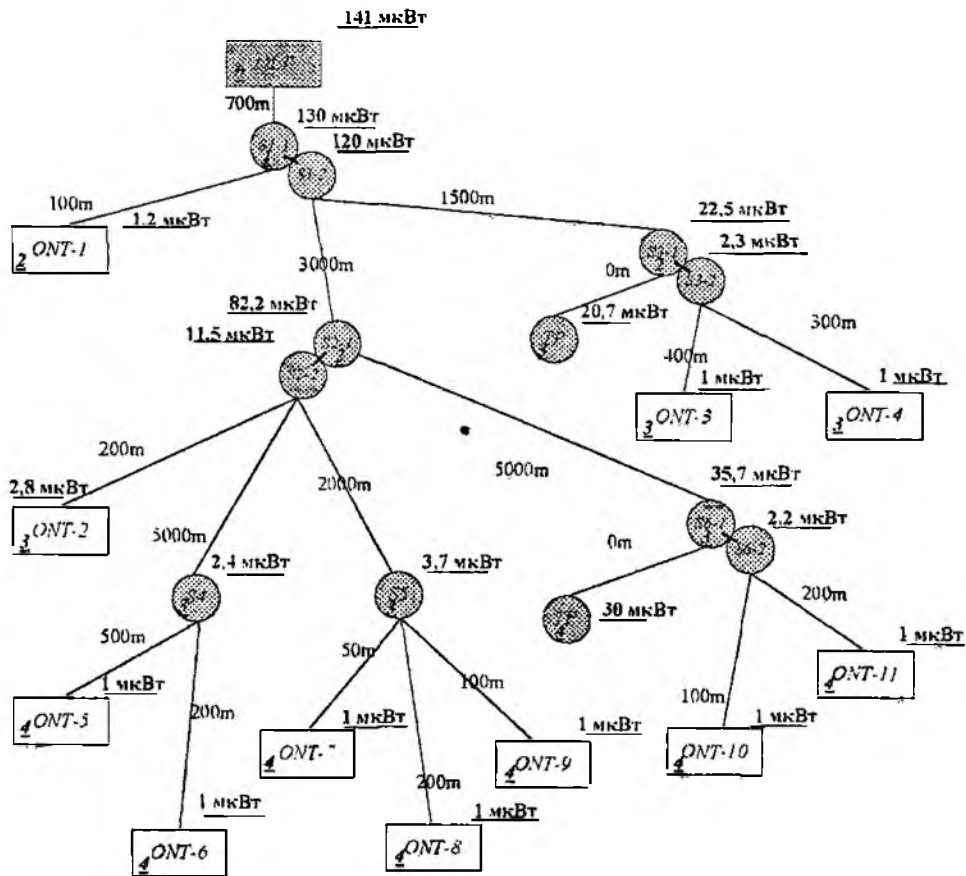


Рис. 3

Выводы

Метод построения квазисбалансированной оптической сети имеет ряд преимуществ по сравнению с методом построения сбалансированной сети. Во-первых, этот метод позволяет учитывать при планировании и расчете сети точки роста – некоторую мощность, резервируемую на выходном порте разветвителя для дальнейшего роста сети. Во-вторых, этот алгоритм при расчете сети использует параметры реальных разветвителей и дает не математическое решение (как метод сбалансированной сети), а практическое. Тем самым устраняется недостаток первого метода. Необходимость дальнейшей обработки результатов с поправкой на реальное оборудование. И в-третьих, за счет аттенуаторов в квазисбалансированной сети существует возможность внепланового (не учтенного в точках роста) расширения. Оба метода при значительном изменении структуры сети требуют нового расчета распределения мощности и, при необходимости, замены разветвителей. Поскольку метод построения квазисбалансированной сети учитывает характеристики серийно выпускаемых разветвителей, то их замена обойдется дешевле: сбалансированная сеть может потребовать исполнения разветвителей на заказ и при перерасчете сети может возникнуть необходимость заказывать новые разветвители со специфическими параметрами.

Список литературы: 1 *Пассивные оптические сети PON. Часть 1. Архитектура и стандарты*, И. И. Петренко, Р. Р. Убайдулаев, LIGHTWAVE russian edition №1 2004, с.22-28; 2 *Пассивные оптические сети PON. Часть 3. Проектирование оптимальных сетей*, И. И. Петренко, Р. Р. Убайдулаев, LIGHTWAVE russian edition №3 2004, с. 21-28; 3 *Волоконно-оптические системы связи*, Р. Фриман. М.: Техносфера, 2003 440 с.