

Александр Александрович Олейников

Компьютерные и телекоммуникационные сети

Лекция 1.4.1. Линии связи. Типы. Аппаратура. Характеристики. Стандарты кабелей.

Астрахань, 2018

- ▶ Средой передачи информации называются те линии связи (или каналы связи), по которым производится обмен информацией между компьютерами. В подавляющем большинстве компьютерных сетей (особенно локальных) используются проводные или кабельные каналы связи, хотя существуют и беспроводные сети, которые сейчас находят все более широкое применение, особенно в портативных компьютерах.

- ▶ Информация в локальных сетях чаще всего передается в последовательном коде, то есть бит за битом. Такая передача медленнее и сложнее, чем при использовании параллельного кода. Однако надо учитывать то, что при более быстрой параллельной передаче (по нескольким кабелям одновременно) увеличивается количество соединительных кабелей в число раз, равное количеству разрядов параллельного кода (например, в 8 раз при 8-разрядном коде). Это совсем не мелочь, как может показаться на первый взгляд. При значительных расстояниях между абонентами сети стоимость кабеля вполне сравнима со стоимостью компьютеров и даже может превосходить ее. К тому же проложить один кабель (реже два разнонаправленных) гораздо проще, чем 8, 16 или 32. Значительно дешевле обойдется также поиск повреждений и ремонт кабеля.

- ▶ Но это еще не все. Передача на большие расстояния при любом типе кабеля требует сложной передающей и приемной аппаратуры, так как при этом необходимо формировать мощный сигнал на передающем конце и детектировать слабый сигнал на приемном конце. При последовательной передаче для этого требуется всего один передатчик и один приемник. При параллельной же количество требуемых передатчиков и приемников возрастает пропорционально разрядности используемого параллельного кода. В связи с этим, даже если разрабатывается сеть незначительной длины (порядка десятка метров) чаще всего выбирают последовательную передачу.

- ▶ К тому же при параллельной передаче чрезвычайно важно, чтобы длины отдельных кабелей были точно равны друг другу. Иначе в результате прохождения по кабелям разной длины между сигналами на приемном конце образуется временной сдвиг, который может привести к сбоям в работе или даже к полной неработоспособности сети. Например, при скорости передачи 100 Мбит/с и длительности бита 10 нс этот временной сдвиг не должен превышать 5–10 нс. Такую величину сдвига дает разница в длинах кабелей в 1–2 метра. При длине кабеля 1000 метров это составляет 0,1–0,2%.
- ▶ Надо отметить, что в некоторых высокоскоростных локальных сетях все-таки используют параллельную передачу по 2–4 кабелям, что позволяет при заданной скорости передачи применять более дешевые кабели с меньшей полосой пропускания. Но допустимая длина кабелей при этом не превышает сотни метров. Примером может служить сегмент 100BASE-T4 сети Fast Ethernet.

Промышленностью выпускается огромное количество типов кабелей, например, только одна крупнейшая кабельная компания Belden предлагает более 2000 их наименований. Но все кабели можно разделить на три большие группы:

- ▶ электрические (медные) кабели на основе витых пар проводов (twisted pair), которые делятся на экранированные (shielded twisted pair, STP) и неэкранированные (unshielded twisted pair, UTP);
- ▶ электрические (медные) коаксиальные кабели (coaxial cable);
- ▶ оптоволоконные кабели (fiber optic).

Каждый тип кабеля имеет свои преимущества и недостатки, так что при выборе надо учитывать как особенности решаемой задачи, так и особенности конкретной сети, в том числе и используемую топологию.

Можно выделить следующие основные параметры кабелей, принципиально важные для использования в локальных сетях:

- ▶ Полоса пропускания кабеля (частотный диапазон сигналов, пропускаемых кабелем) и затухание сигнала в кабеле. Два этих параметра тесно связаны между собой, так как с ростом частоты сигнала растет затухание сигнала. Надо выбирать кабель, который на заданной частоте сигнала имеет приемлемое затухание. Или же надо выбирать частоту сигнала, на которой затухание еще приемлемо. Затухание измеряется в децибелах и пропорционально длине кабеля.
- ▶ **Помехозащищенность** кабеля и обеспечиваемая им **секретность** передачи информации. Эти два взаимосвязанных параметра показывают, как кабель взаимодействует с окружающей средой, то есть, как он реагирует на внешние помехи, и насколько просто прослушать информацию, передаваемую по кабелю.

- ▶ **Скорость распространения сигнала по кабелю или, обратный параметр - задержка сигнала на метр длины кабеля.** Этот параметр имеет принципиальное значение при выборе длины сети. Типичные величины скорости распространения сигнала - от 0,6 до 0,8 от скорости распространения света в вакууме. Соответственно типичные величины задержек - от 4 до 5 нс/м.
- ▶ Для электрических кабелей очень важна величина **волнового сопротивления** кабеля. Волновое сопротивление важно учитывать при согласовании кабеля для предотвращения отражения сигнала от концов кабеля. Волновое сопротивление зависит от формы и взаиморасположения проводников, от технологии изготовления и материала диэлектрика кабеля. Типичные значения волнового сопротивления - от 50 до 150 Ом.

В настоящее время действуют следующие стандарты на кабели:

- ▶ EIA/TIA 568 (Commercial Building Telecommunications Cabling Standard) - американский;
- ▶ ISO/IEC IS 11801 (Generic cabling for customer premises) - международный;
- ▶ CENELEC EN 50173 (Generic cabling systems) - европейский.

Эти стандарты описывают практически одинаковые кабельные системы, но отличаются терминологией и нормами на параметры. В данном курсе предлагается придерживаться терминологии стандарта EIA/TIA 568.

Кабели на основе витых пар

- ▶ Витые пары проводов используются в дешевых и сегодня, пожалуй, самых популярных кабелях. Кабель на основе витых пар представляет собой несколько пар скрученных попарно изолированных медных проводов в единой диэлектрической (пластиковой) оболочке. Он довольно гибкий и удобный для прокладки. Скручивание проводов позволяет свести к минимуму индуктивные наводки кабелей друг на друга и снизить влияние переходных процессов.
- ▶ Обычно в кабель входит две ([рис. 2.1](#)) или четыре витые пары.

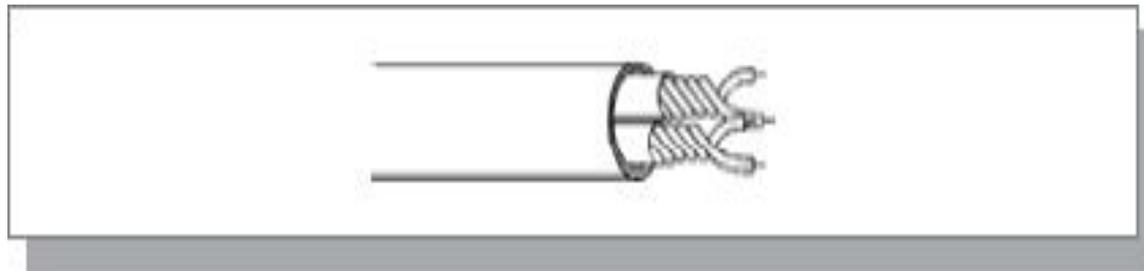


Рис. 2.1. Кабель с витыми парами

- ▶ Неэкранированные витые пары характеризуются слабой защищенностью от внешних электромагнитных помех, а также от подслушивания, которое может осуществляться с целью, например, промышленного шпионажа. Причем перехват передаваемой по сети информации возможен как с помощью контактного метода (например, посредством двух иголок, воткнутых в кабель), так и с помощью бесконтактного метода, сводящегося к радиоперехвату излучаемых кабелем электромагнитных полей. Причем действие помех и величина излучения во вне увеличивается с ростом длины кабеля. Для устранения этих недостатков применяется экранирование кабелей.

- ▶ В случае экранированной витой пары STP каждая из витых пар помещается в металлическую оплетку-экран для уменьшения излучений кабеля, защиты от внешних электромагнитных помех и снижения взаимного влияния пар проводов друг на друга (crosstalk - перекрестные наводки). Для того чтобы экран защищал от помех, он должен быть обязательно заземлен. Естественно, экранированная витая пара заметно дороже, чем неэкранированная. Ее использование требует специальных экранированных разъемов. Поэтому встречается она значительно реже, чем неэкранированная витая пара.

- ▶ Основные достоинства неэкранированных витых пар - простота монтажа разъемов на концах кабеля, а также ремонта любых повреждений по сравнению с другими типами кабеля. Все остальные характеристики у них хуже, чем у других кабелей. Например, при заданной скорости передачи затухание сигнала (уменьшение его уровня по мере прохождения по кабелю) у них больше, чем у коаксиальных кабелей. Если учесть еще низкую помехозащищенность, то понятно, почему линии связи на основе витых пар, как правило, довольно короткие (обычно в пределах 100 метров). В настоящее время витая пара используется для передачи информации на скоростях до 1000 Мбит/с, хотя технические проблемы, возникающие при таких скоростях, крайне сложны.

Согласно стандарту EIA/TIA 568, существуют пять основных и две дополнительные категории кабелей на основе неэкранированной витой пары (UTP):

- ▶ Кабель категории 1 - это обычный телефонный кабель (пары проводов не витые), по которому можно передавать только речь. Этот тип кабеля имеет большой разброс параметров (волнового сопротивления, полосы пропускания, перекрестных наводок).
- ▶ Кабель категории 2 - это кабель из витых пар для передачи данных в полосе частот до 1 МГц. Кабель не тестируется на уровень перекрестных наводок. В настоящее время он используется очень редко. Стандарт EIA/TIA 568 не различает кабели категорий 1 и 2.
- ▶ Кабель категории 3 - это кабель для передачи данных в полосе частот до 16 МГц, состоящий из витых пар с девятью витками проводов на метр длины. Кабель тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Это самый простой тип кабелей, рекомендованный стандартом для локальных сетей. Еще недавно он был самым распространенным, но сейчас повсеместно вытесняется кабелем категории 5.

- ▶ Кабель категории 4 - это кабель, передающий данные в полосе частот до 20 МГц. Используется редко, так как не слишком заметно отличается от категории 3. Стандартом рекомендуется вместо кабеля категории 3 переходить сразу на кабель категории 5. Кабель категории 4 тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Кабель был создан для работы в сетях по стандарту IEEE 802.5.
- ▶ Кабель категории 5 - в настоящее время самый совершенный кабель, рассчитанный на передачу данных в полосе частот до 100 МГц. Состоит из витых пар, имеющих не менее 27 витков на метр длины (8 витков на фут). Кабель тестируется на все параметры и имеет волновое сопротивление 100 Ом. Рекомендуется применять его в современных высокоскоростных сетях типа Fast Ethernet и Token Ring. Кабель категории 5 примерно на 30–50% дороже, чем кабель категории 3.
- ▶ Кабель категории 6 - перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 200 (или 250) МГц.
- ▶ Кабель категории 7 - перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 600 МГц.

- ▶ Согласно стандарту EIA/TIA 568, полное волновое сопротивление наиболее совершенных кабелей категорий 3, 4 и 5 должно составлять $100 \text{ Ом} \pm 15\%$ в частотном диапазоне от 1 МГц до максимальной частоты кабеля. Требования не очень жесткие: величина волнового сопротивления может находиться в диапазоне от 85 до 115 Ом. Здесь же следует отметить, что волновое сопротивление экранированной витой пары STP по стандарту должно быть равным $150 \text{ Ом} \pm 15\%$. Для согласования сопротивлений кабеля и оборудования в случае их несовпадения применяют согласующие трансформаторы (Balun). Существует также экранированная витая пара с волновым сопротивлением 100 Ом, но используется она довольно редко.

- ▶ Второй важнейший параметр, задаваемый стандартом, - это максимальное затухание сигнала, передаваемого по кабелю, на разных частотах. В [таблице 2.1](#) приведены предельные значения величины затухания в децибелах для кабелей категорий 3, 4 и 5 на расстояние 1000 футов (то есть 305 метров) при нормальной температуре окружающей среды 20° С.

Таблица 2.1. Максимальное затухание в кабелях

Частота, МГц	Максимальное затухание, дБ		
	Категория 3	Категория 4	Категория 5
0,064	2,8	2,3	2,2
0,256	4,0	3,4	3,2
0,512	5,6	4,6	4,5
0,772	6,8	5,7	5,5
1,0	7,8	6,5	6,3
4,0	17	13	13
8,0	26	19	18
10,0	30	22	20
16,0	40	27	25
20,0	—	31	28
25,0	—	—	32
31,25	—	—	36
62,5	—	—	52
100	—	—	67

- ▶ Из таблицы видно, что величины затухания на частотах, близких к предельным, для всех кабелей очень значительны. Даже на небольших расстояниях сигнал ослабляется в десятки и сотни раз, что предъявляет высокие требования к приемникам сигнала.
- ▶ Еще один специфический параметр, определяемый стандартом - это величина так называемой перекрестной наводки на ближнем конце (NEXT - Near End CrossTalk). Он характеризует влияние разных проводов в кабеле друг на друга. Суть данного параметра иллюстрируется на [рис. 2.2](#).

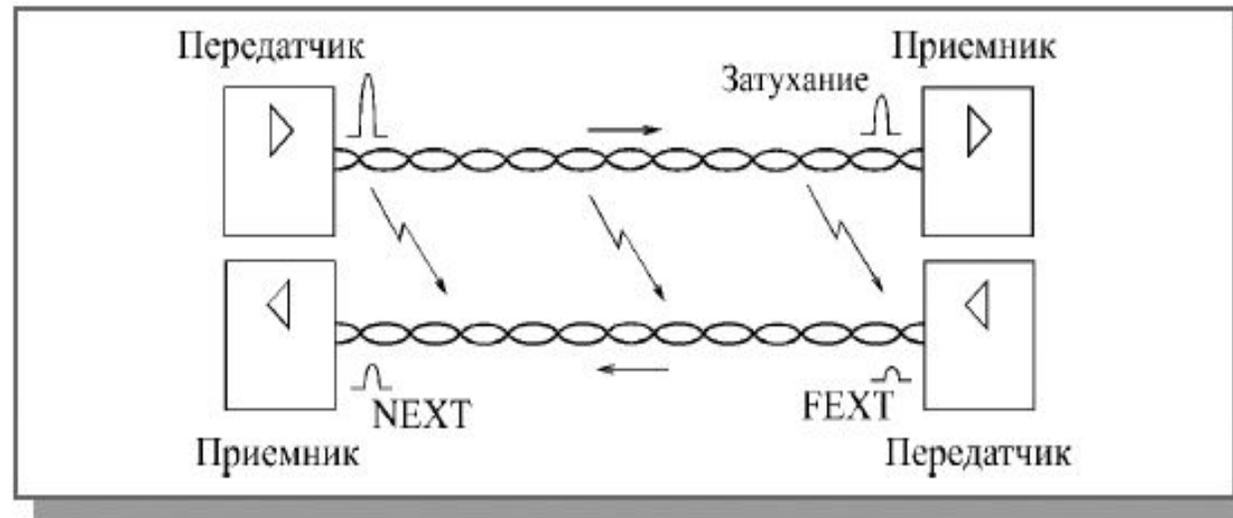


Рис. 2.2. Перекрестные помехи в кабелях на витых парах

Сигнал, передаваемый по одной из витых пар кабеля (верхняя пара), наводит индуктивную помеху на другую (нижнюю) витую пару кабеля. Две витые пары в сети обычно передают информацию в разные стороны, поэтому наиболее важна наводка на ближнем конце воспринимающей пары (нижней на рисунке), так как именно там находится приемник информации. Перекрестная наводка на дальнем конце (FEXT - Far End CrossTalk) не имеет такого большого значения.

В [таблице 2.2](#) представлены значения допустимой перекрестной наводки на ближнем конце для кабелей категорий 3, 4 и 5 на различных частотах сигнала. Естественно, более качественные кабели обеспечивают меньшую величину перекрестной наводки.

Таблица 2.2. Допустимые уровни перекрестных наводок NEXT

Частота, МГц	Перекрестная наводка на ближнем конце, дБ		
	Категория 3	Категория 4	Категория 5
0,150	- 54	-68	-74
0,772	-43	-58	-64
1,0	-41	-56	-62
4,0	-32	-47	-53
8,0	-28	-42	-48
10,0	-26	-41	-47
16,0	-23	-38	-44
20,0	—	-36	-42
25,0	—	—	-41
31,25	—	—	-40
62,5	—	—	-35
100,0	—	—	-32

- ▶ Стандарт определяет также максимально допустимую величину рабочей емкости каждой из витых пар кабелей категории 4 и 5. Она должна составлять не более 17 нФ на 305 метров (1000 футов) при частоте сигнала 1 кГц и температуре окружающей среды 20° С.
- ▶ Для присоединения витых пар используются разъемы (коннекторы) типа RJ-45, похожие на разъемы, используемые в телефонах (RJ-11), но несколько большие по размеру. Разъемы RJ-45 имеют восемь контактов вместо четырех в случае RJ-11. Присоединяются разъемы к кабелю с помощью специальных обжимных инструментов. При этом золоченые игольчатые контакты разъема прокалывают изоляцию каждого провода, входят между его жилами и обеспечивают надежное и качественное соединение. Надо учитывать, что при установке разъемов стандартом допускается расплетение витой пары кабеля на длину не более одного сантиметра.

Чаще всего витые пары используются для передачи данных в одном направлении (точка-точка), то есть в топологиях типа звезда или кольцо. Топология шина обычно ориентируется на коаксиальный кабель. Поэтому внешние терминаторы, согласующие неподключенные концы кабеля, для витых пар практически никогда не применяются.

Кабели выпускаются с двумя типами внешних оболочек:

- ▶ Кабель в поливинилхлоридной (ПВХ, PVC) оболочке дешевле и предназначен для работы в сравнительно комфортных условиях эксплуатации.
- ▶ Кабель в тефлоновой оболочке дороже и предназначен для более жестких условий эксплуатации.

- ▶ Кабель в ПВХ оболочке называется еще non-plenum, а в тефлоновой - plenum. Термин plenum обозначает в данном случае пространство под фальшполом и над подвесным потолком, где удобно размещать кабели сети. Для прокладки в этих скрытых от глаз пространствах как раз удобнее кабель в тефлоновой оболочке, который, в частности, горит гораздо хуже, чем ПВХ - кабель, и не выделяет при этом ядовитых газов в большом количестве.
- ▶ Еще один важный параметр любого кабеля, который жестко не определяется стандартом, но может существенно повлиять на работоспособность сети, - это скорость распространения сигнала в кабеле или, другими словами, задержка распространения сигнала в кабеле в расчете на единицу длины.

- ▶ Производители кабелей иногда указывают величину задержки на метр длины, а иногда - скорость распространения сигнала относительно скорости света (или NVP - Nominal Velocity of Propagation, как ее часто называют в документации). Связаны эти две величины простой формулой:
- ▶ $t_3 = 1 / (3 \times 10^8 \times NVP)$
- ▶ где t_3 - величина задержки на метр длины кабеля в наносекундах. Например, если $NVP=0,65$ (65% от скорости света), то задержка t_3 будет равна 5,13 нс/м. Типичная величина задержки большинства современных кабелей составляет около 4–5 нс/м.
- ▶ В [таблице 2.3](#) приведены величины NVP и задержек на метр длины (в наносекундах) для некоторых типов кабеля двух самых известных компаний-производителей AT&T и Belden.

Таблица 2.3. Временные характеристики некоторых кабелей

Фирма	Марка	Категория	Оболочка	NVP	Задержка
AT&T	1010	3	non-plenum	0,67	4,98
AT&T	1041	4	non-plenum	0,70	4,76
AT&T	1061	5	non-plenum	0,70	4,76
AT&T	2010	3	plenum	0,70	4,76
AT&T	2041	4	plenum	0,75	4,44
AT&T	2061	5	plenum	0,75	4,44
Belden	1229A	3	non-plenum	0,69	4,83
Belden	1455A	4	non-plenum	0,72	4,63
Belden	1583A	5	non-plenum	0,72	4,63
Belden	1245A2	3	plenum	0,69	4,83
Belden	1457A	4	plenum	0,75	4,44
Belden	1585A	5	plenum	0,75	4,44

- ▶ Стоит также отметить, что каждый из проводов, входящих в кабель на основе витых пар, как правило, имеет свой цвет изоляции, что существенно упрощает монтаж разъемов, особенно в том случае, когда концы кабеля находятся в разных комнатах, и контроль с помощью приборов затруднен.
- ▶ Примером кабеля с экранированными витыми парами может служить кабель STP IBM типа 1, который включает в себя две экранированные витые пары AWG типа 2. Волновое сопротивление каждой пары составляет 150 Ом. Для этого кабеля применяются специальные разъемы, отличающиеся от разъемов для неэкранированной витой пары (например, DB9). Имеются и экранированные версии разъема RJ-45.

Коаксиальные кабели

- ▶ Коаксиальный кабель представляет собой электрический кабель, состоящий из центрального медного провода и металлической оплетки (экрана), разделенных между собой слоем диэлектрика (внутренней изоляции) и помещенных в общую внешнюю оболочку ([рис. 2.3](#)).



Рис. 2.3. Коаксиальный кабель

- ▶ Коаксиальный кабель до недавнего времени был очень популярен, что связано с его высокой помехозащищенностью (благодаря металлической оплетке), более широкими, чем в случае витой пары, полосами пропускания (свыше 1 ГГц), а также большими допустимыми расстояниями передачи (до километра). К нему труднее механически подключиться для несанкционированного прослушивания сети, он дает также заметно меньше электромагнитных излучений вовне. Однако монтаж и ремонт коаксиального кабеля существенно сложнее, чем витой пары, а стоимость его выше (он дороже примерно в 1,5 - 3 раза). Сложнее и установка разъемов на концах кабеля. Сейчас его применяют реже, чем витую пару. Стандарт EIA/TIA-568 включает в себя только один тип коаксиального кабеля, применяемый в сети Ethernet.

- ▶ Основное применение коаксиальный кабель находит в сетях с топологией типа шина. При этом на концах кабеля обязательно должны устанавливаться терминаторы для предотвращения внутренних отражений сигнала, причем один (и только один!) из терминаторов должен быть заземлен. Без заземления металлическая оплетка не защищает сеть от внешних электромагнитных помех и не снижает излучение передаваемой по сети информации во внешнюю среду. Но при заземлении оплетки в двух или более точках из строя может выйти не только сетевое оборудование, но и компьютеры, подключенные к сети. Терминаторы должны быть обязательно согласованы с кабелем, необходимо, чтобы их сопротивление равнялось волновому сопротивлению кабеля. Например, если используется 50-омный кабель, для него подходят только 50-омные терминаторы.

- ▶ Реже коаксиальные кабели применяются в сетях с топологией звезда (например, пассивная звезда в сети Arcnet). В этом случае проблема согласования существенно упрощается, так как внешних терминаторов на свободных концах не требуется.
- ▶ Волновое сопротивление кабеля указывается в сопроводительной документации. Чаще всего в локальных сетях применяются 50-омные (RG-58, RG-11, RG-8) и 93-омные кабели (RG-62). Распространенные в телевизионной технике 75-омные кабели в локальных сетях используются редко. Марок коаксиального кабеля немного. Он не считается особо перспективным. Не случайно в сети Fast Ethernet не предусмотрено применение коаксиальных кабелей. Однако во многих случаях классическая шинная топология (а не пассивная звезда) очень удобна. Как уже отмечалось, она не требует применения дополнительных устройств - концентраторов.

Существует два основных типа коаксиального кабеля:

- ▶ тонкий (thin) кабель, имеющий диаметр около 0,5 см, более гибкий;
- ▶ толстый (thick) кабель, диаметром около 1 см, значительно более жесткий. Он представляет собой классический вариант коаксиального кабеля, который уже почти полностью вытеснен современным тонким кабелем.

Тонкий кабель используется для передачи на меньшие расстояния, чем толстый, поскольку сигнал в нем затухает сильнее. Зато с тонким кабелем гораздо удобнее работать: его можно оперативно проложить к каждому компьютеру, а толстый требует жесткой фиксации на стене помещения. Подключение к тонкому кабелю (с помощью разъемов BNC байонетного типа) проще и не требует дополнительного оборудования. А для подключения к толстому кабелю надо использовать специальные довольно дорогие устройства, прокалывающие его оболочку и устанавливающие контакт как с центральной жилой, так и с экраном. Толстый кабель примерно вдвое дороже, чем тонкий, поэтому тонкий кабель применяется гораздо чаще.

- ▶ Как и в случае витых пар, важным параметром коаксиального кабеля является тип его внешней оболочки. Точно так же в данном случае применяются как non-plenum (PVC), так и plenum кабели. Естественно, тефлоновый кабель дороже поливинилхлоридного. Обычно тип оболочки можно отличить по окраске (например, для PVC кабеля фирма Belden использует желтый цвет, а для тефлонового - оранжевый).
- ▶ Типичные величины задержки распространения сигнала в коаксиальном кабеле составляют для тонкого кабеля около 5 нс/м, а для толстого - около 4,5 нс/м.
- ▶ Существуют варианты коаксиального кабеля с двойным экраном (один экран расположен внутри другого и отделен от него дополнительным слоем изоляции). Такие кабели имеют лучшую помехозащищенность и защиту от прослушивания, но они немного дороже обычных.
- ▶ В настоящее время считается, что коаксиальный кабель устарел, в большинстве случаев его вполне может заменить витая пара или оптоволоконный кабель. И новые стандарты на кабельные системы уже не включают его в перечень типов кабелей.

Оптоволоконные кабели

- ▶ Оптоволоконный (он же волоконно-оптический) кабель - это принципиально иной тип кабеля по сравнению с рассмотренными двумя типами электрического или медного кабеля. Информация по нему передается не электрическим сигналом, а световым. Главный его элемент - это прозрачное стекловолокно, по которому свет проходит на огромные расстояния (до десятков километров) с незначительным ослаблением.

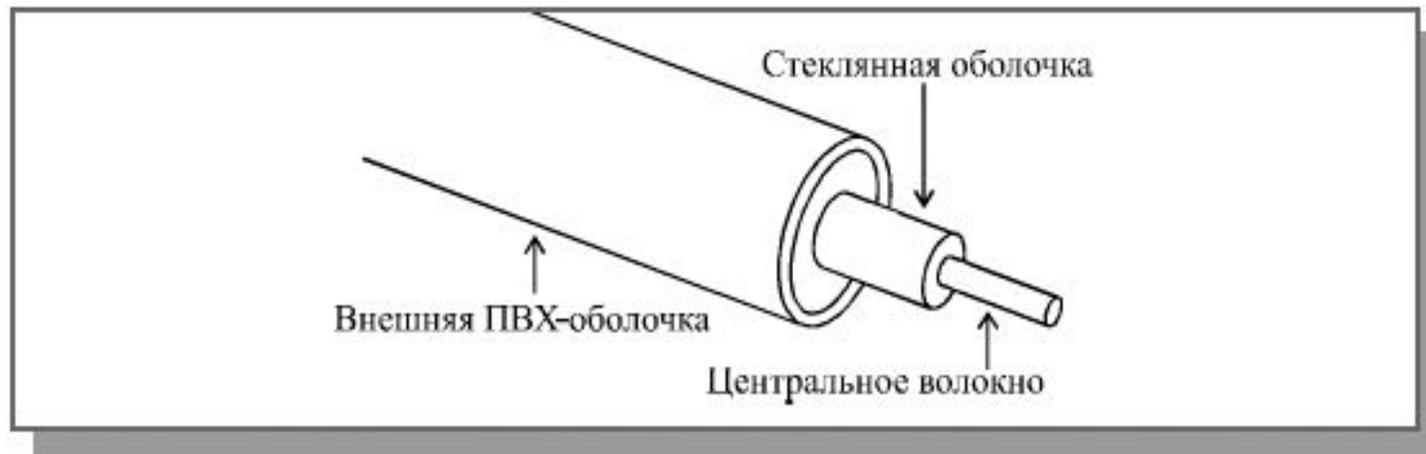


Рис. 2.4. Структура оптоволоконного кабеля

- ▶ Структура оптоволоконного кабеля очень проста и похожа на структуру коаксиального электрического кабеля ([рис. 2.4](#)). Только вместо центрального медного провода здесь используется тонкое (диаметром около 1 - 10 мкм) стекловолокно, а вместо внутренней изоляции - стеклянная или пластиковая оболочка, не позволяющая свету выходить за пределы стекловолокна. В данном случае речь идет о режиме так называемого полного внутреннего отражения света от границы двух веществ с разными коэффициентами преломления (у стеклянной оболочки коэффициент преломления значительно ниже, чем у центрального волокна). Металлическая оплетка кабеля обычно отсутствует, так как экранирование от внешних электромагнитных помех здесь не требуется. Однако иногда ее все-таки применяют для механической защиты от окружающей среды (такой кабель иногда называют броневым, он может объединять под одной оболочкой несколько оптоволоконных кабелей).

- ▶ Оптоволоконный кабель обладает исключительными характеристиками по помехозащищенности и секретности передаваемой информации. Никакие внешние электромагнитные помехи в принципе не способны исказить световой сигнал, а сам сигнал не порождает внешних электромагнитных излучений. Подключиться к этому типу кабеля для несанкционированного прослушивания сети практически невозможно, так как при этом нарушается целостность кабеля. Теоретически возможная полоса пропускания такого кабеля достигает величины 10^{12} Гц, то есть 1000 ГГц, что несравнимо выше, чем у электрических кабелей. Стоимость оптоволоконного кабеля постоянно снижается и сейчас примерно равна стоимости тонкого коаксиального кабеля.

- ▶ Типичная величина затухания сигнала в оптоволоконных кабелях на частотах, используемых в локальных сетях, составляет от 5 до 20 дБ/км, что примерно соответствует показателям электрических кабелей на низких частотах. Но в случае оптоволоконного кабеля при росте частоты передаваемого сигнала затухание увеличивается очень незначительно, и на больших частотах (особенно свыше 200 МГц) его преимущества перед электрическим кабелем неоспоримы, у него просто нет конкурентов.

Оптоволоконный кабель - недостатки.

- ▶ Самый главный из них - высокая сложность монтажа (при установке разъемов необходима микронная точность, от точности скола стекловолокна и степени его полировки сильно зависит затухание в разьеме). Для установки разъемов применяют сварку или склеивание с помощью специального геля, имеющего такой же коэффициент преломления света, что и стекловолокно. В любом случае для этого нужна высокая квалификация персонала и специальные инструменты. Поэтому чаще всего оптоволоконный кабель продается в виде заранее нарезанных кусков разной длины, на обоих концах которых уже установлены разъемы нужного типа. Следует помнить, что некачественная установка разъема резко снижает допустимую длину кабеля, определяемую затуханием.

- ▶ Также надо помнить, что использование оптоволоконного кабеля требует специальных оптических приемников и передатчиков, преобразующих световые сигналы в электрические и обратно, что порой существенно увеличивает стоимость сети в целом.
- ▶ Оптоволоконные кабели допускают разветвление сигналов (для этого производятся специальные пассивные разветвители (couplers) на 2–8 каналов), но, как правило, их используют для передачи данных только в одном направлении между одним передатчиком и одним приемником. Ведь любое разветвление неизбежно сильно ослабляет световой сигнал, и если разветвлений будет много, то свет может просто не дойти до конца сети. Кроме того, в разветвителе есть и внутренние потери, так что суммарная мощность сигнала на выходе меньше входной мощности.

- ▶ Оптоволоконный кабель менее прочен и гибок, чем электрический. Типичная величина допустимого радиуса изгиба составляет около 10 - 20 см, при меньших радиусах изгиба центральное волокно может сломаться. Плохо переносит кабель и механическое растяжение, а также раздавливающие воздействия.
- ▶ Чувствителен оптоволоконный кабель и к ионизирующим излучениям, из-за которых снижается прозрачность стекловолокна, то есть увеличивается затухание сигнала. Резкие перепады температуры также негативно сказываются на нем, стекловолокно может треснуть.
- ▶ Применяют оптоволоконный кабель только в сетях с топологией звезда и кольцо. Никаких проблем согласования и заземления в данном случае не существует. Кабель обеспечивает идеальную гальваническую развязку компьютеров сети. В будущем этот тип кабеля, вероятно, вытеснит электрические кабели или, во всяком случае, сильно потеснит их. Запасы меди на планете истощаются, а сырья для производства стекла более чем достаточно.

Существуют два различных типа оптоволоконного кабеля:

- ▶ **многомодовый** или **мультимодовый** кабель, более дешевый, но менее качественный;
- ▶ **одномодовый** кабель, более дорогой, но имеет лучшие характеристики по сравнению с первым.

Суть различия между этими двумя типами сводится к разным режимам прохождения световых лучей в кабеле.

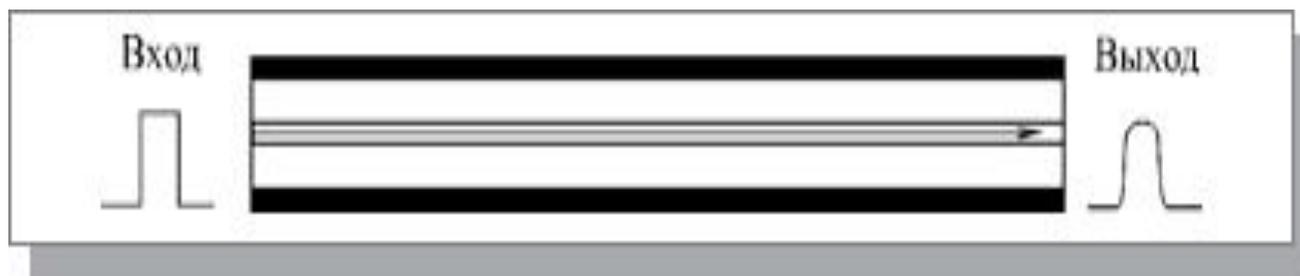


Рис. 2.5. Распространение света в одномодовом кабеле

- ▶ В одномодовом кабеле практически все лучи проходят один и тот же путь, в результате чего они достигают приемника одновременно, и форма сигнала почти не искажается ([рис. 2.5](#)). Одномодовый кабель имеет диаметр центрального волокна около 1,3 мкм и передает свет только с такой же длиной волны (1,3 мкм). Дисперсия и потери сигнала при этом очень незначительны, что позволяет передавать сигналы на значительно большее расстояние, чем в случае применения многомодового кабеля. Для одномодового кабеля применяются лазерные приемопередатчики, использующие свет исключительно с требуемой длиной волны. Такие приемопередатчики пока еще сравнительно дороги и не долговечны. Однако в перспективе одномодовый кабель должен стать основным типом благодаря своим прекрасным характеристикам. К тому же лазеры имеют большее быстродействие, чем обычные светодиоды. Затухание сигнала в одномодовом кабеле составляет около 5 дБ/км и может быть даже снижено до 1 дБ/км.

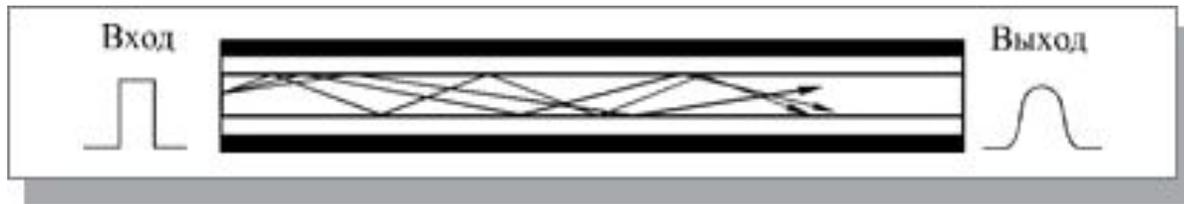


Рис. 2.6. Распространение света в многомодовом кабеле

В многомодовом кабеле траектории световых лучей имеют заметный разброс, в результате чего форма сигнала на приемном конце кабеля искажается ([рис. 2.6](#)). Центральное волокно имеет диаметр 62,5 мкм, а диаметр внешней оболочки 125 мкм (это иногда обозначается как 62,5/125). Для передачи используется обычный (не лазерный) светодиод, что снижает стоимость и увеличивает срок службы приемопередатчиков по сравнению с одномодовым кабелем. Длина волны света в многомодовом кабеле равна 0,85 мкм, при этом наблюдается разброс длин волн около 30 - 50 нм. Допустимая длина кабеля составляет 2 - 5 км. Многомодовый кабель - это основной тип оптоволоконного кабеля в настоящее время, так как он дешевле и доступнее. Затухание в многомодовом кабеле больше, чем в одномодовом и составляет 5 - 20 дБ/км. Типичная величина задержки для наиболее распространенных кабелей составляет около 4-5 нс/м, что близко к величине задержки в электрических кабелях.

Оптические компоненты

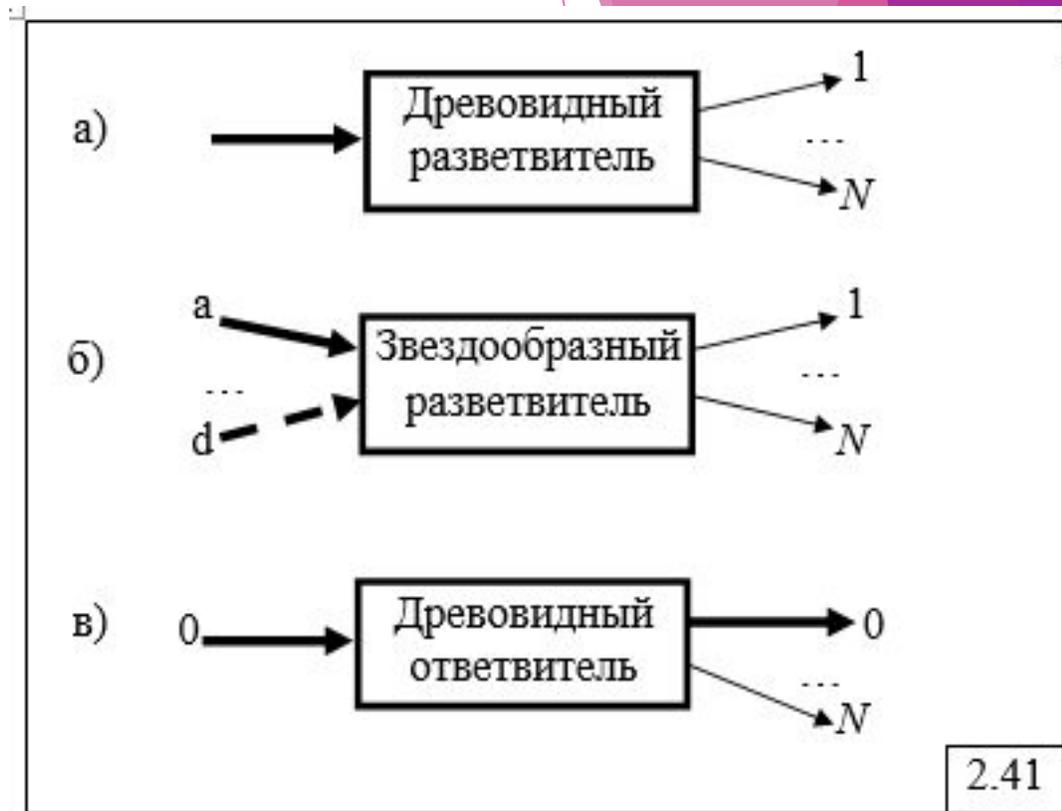
Оптические компоненты включают в себя:

- ▶ оптические соединители;
- ▶ системы спектрального уплотнения;
- ▶ оптические шнуры;
- ▶ оптические разветвители;
- ▶ распределительные панели;
- ▶ кроссовые шкафы;
- ▶ соединительные муфты;
- ▶ аттенюаторы и т.д.

- ▶ *Оптические соединители (коннекторы)* предназначены для соединения ВОК с приёмо-передающей аппаратурой через специальные розетки.
- ▶ *Системы спектрального (волнового) уплотнения WDM (фильтры WDM)* реализуют мультиплексирование и демultipлексирование оптических сигналов.
- ▶ *Оптический шнур* - это оптический миникабель, оба конца которого снабжены соединителями.
- ▶ *Оптический разветвитель* - многополюсное устройство, в котором подаваемый на вход оптический сигнал разветвляется по нескольким выходным направлениям.

Типы оптических разветвителей:

- ▶ древовидный (рис. 2.41,а) - разветвляет один входной оптический сигнал по нескольким выходам (в равной степени по мощности) или наоборот объединяет несколько сигналов в один выходной;
- ▶ звездообразный (рис. 2.41,б) - разветвляет поступающий по одному из входов оптический сигнал по нескольким выходам (в равной степени по мощности);
- ▶ ответвитель (рис. 2.41,в), где большая часть мощности остается в магистральном канале.



Аттенюаторы используются для уменьшения мощности входного оптического сигнала

Особенности ВОЛС

► *Физические свойства ВОЛС:*

- *высокая частота несущей ($f_n = 10^{14}$ Гц), обуславливающая широкополосность оптических сигналов, то есть возможность передачи данных со скоростью порядка 10^{12} бит/с = 1 Тбит/с;*
- *высокая пропускная способность за счет передачи данных в одном оптическом волокне сразу на нескольких длинах волн;*
- *малое затухание светового сигнала, что позволяет строить протяженные ЛС до сотен километров без регенерации сигналов.*

Достоинства ВОЛС

- ▶ *невысокая стоимость* материала - кварца (основу которого составляет двуокись кремния), из которого изготавливается волокно, по сравнению с медью;
- ▶ оптические волокна *компактны и легки* (их диаметр около 100 мкм), а, следовательно, перспективны для использования в авиации, приборостроении и т.д.;
- ▶ обеспечивается *гальваническая развязка сегментов*, так как стеклянные волокна не проводят электричество;
- ▶ *безопасны в электрическом отношении*, так как не содержат металла, и, следовательно, могут монтироваться на мачтах существующих линий электропередач;
- ▶ *устойчивы к электромагнитным помехам*;

- ▶ *данные, передаваемые по ВОЛС, защищены от несанкционированного доступа, так как ВОЛС чрезвычайно трудно подслушать неразрушающим способом, а всякие воздействия на ВОЛС могут быть зарегистрированы с помощью мониторинга (непрерывного контроля) целостности линии;*
- ▶ *возможно применение разных вариантов скрытой передачи информации, например путем:*
 - ▶ *модулирования сигналов по фазе и их перемешивания со смещенным на некоторое время сигналом из того же информационного потока;*
 - ▶ *распределения передаваемой информации по множеству сигналов;*
 - ▶ *передачи нескольких шумовых сигналов;*
- ▶ *долговечность, означающая сохранение свойств волокна в определенных пределах в течение 25 и более лет;*
- ▶ *обеспечивают сверхвысокие скорости передачи данных - десятки и более Гбит/с.*

Недостатки ВОЛС:

- ▶ необходимы специальные технические средства, а именно:
 - ▶ высоконадежные адаптеры, преобразующие электрические сигналы в световые и обратно;
 - ▶ оптические коннекторы (соединители) с малыми оптическими потерями и большим ресурсом на включение-выключение;
- ▶ для монтажа оптических волокон необходимо прецизионное, а, следовательно, дорогое технологическое оборудование;
- ▶ высокие затраты по сравнению с медным кабелем на восстановление оптического кабеля при его повреждении (обрыве).

Применение ВОЛС в ЛВС

Наряду с глобальными сетями оптическое волокно широко используется и при создании ЛВС - Ethernet, FDDI, Token Ring.

Основные преимущества применения ВОЛС в ЛВС:

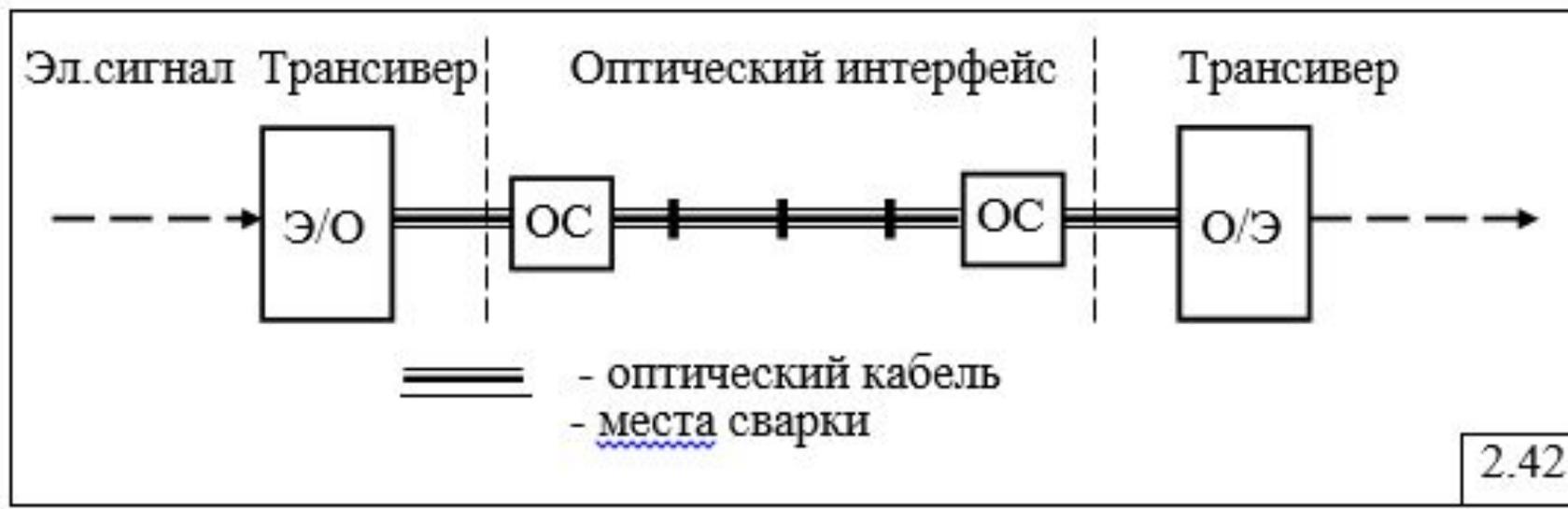
- ▶ не требуются повторители на протяженных сегментах ЛВС;
- ▶ вероятность искажения информации - не более 10^{-10} благодаря низкому уровню шумов в оптических линиях связи;
- ▶ возможность наращивания вычислительной мощности сети без замены кабельных коммуникаций.

Недостатки использования ВОЛС в ЛВС:

- ▶ несмотря на возможно невысокую стоимость кабеля, стоимость работы по его прокладке может быть значительной.

В состав схемы ВОЛС (рис.2.42) входят:

- ▶ сетевой адаптер, устанавливаемый в рабочую станцию или сервер;
- ▶ приемопередатчик (трансивер), преобразующий электрический сигнал в оптический (Э/О) и обратно (О/Э);
- ▶ оптический соединитель (ОС);
- ▶ оптический кабель.



Способы сращивания оптических волокон

Для сращивания оптических волокон используются следующие средства.

Специальные сварочные аппараты, обеспечивающие:

- ▶ возможность сваривать любые типы волокон в ручном и автоматическом режимах;
- ▶ предварительное тестирование волокна;
- ▶ оценку качества поверхности волокон перед сваркой;
- ▶ установку оптимальных параметров работы;
- ▶ измерение потерь в точке их соединения.

При сварке одно- и многомодовых волокон потери составляют всего 0,01 дБ, что является превосходным результатом.

▶ **Достоинства:**

- ▶ высокое качество сварки;
- ▶ большая скорость проведения работ, что немаловажно при ликвидации аварий на магистральных линиях связи.

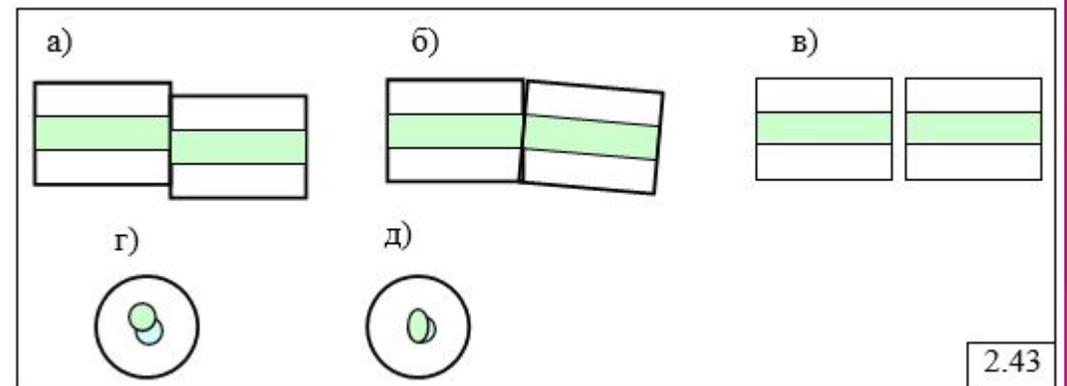
▶ **Недостаток:** высокая стоимость сварочных аппаратов;

- ▶ **Механические "сплайсы" (splice)**, представляющие собой пластиковые устройства размером со спичечный коробок (40x7x4 мм) и состоящие из крышки и корпуса со специальным желобом, в который с двух сторон вставляются соединяемые волокна, закрепляемые крышкой замком. Особая конструкция сплайса обеспечивает надежное центрирование, герметичное и качественное соединение волокон с потерями на стыке порядка 0,1 дБ.
- ▶ **Достоинства:**
 - ▶ простота и дешевизна способа соединения;
 - ▶ малое время на соединение двух волокон (около 30 с после соответствующей подготовки волокон);
 - ▶ удобство при работе в труднодоступном месте, так как монтаж ведется без применения клея и специального оборудования.

Прецизионные втулки, в которых в месте стыка волокон находится гель на основе силикона высокой прозрачности с показателем преломления, близким к показателю преломления оптического волокна, что обеспечивает оптический контакт между торцами сращиваемых волокон и одновременно герметизирует место стыка.

В местах сращивания оптических волокон возникают *потери энергии*, обусловленные:

- ▶ внешними факторами:
 - ▶ линейное смещение оптических волокон (рис. 2.43, а);
 - ▶ угловое смещение оптических волокон (рис. 2.43, б);
 - ▶ воздушный зазор между сращиваемыми волокнами (рис. 2.43, в);
- ▶ внутренними факторами:
 - ▶ эксцентриситет сердцевин (рис. 2.43, г);
 - ▶ эллиптичность сердцевин (рис. 2.43, д).



Перспективы ВОЛС

- ▶ Работы по увеличению пропускной способности оптических сетей ведутся в двух направлениях:
 - ▶ увеличивается скорость передачи данных на одной длине волны в коммерческих системах достигнут уровень 40 Гбит/с, а в тестовых – 320 Гбит/с;
 - ▶ увеличивается число длин волн, передаваемых по одному волокну: 80 длин волн в коммерческих системах и до 1000 в тестовых.
- ▶ Теоретическая пропускная способность одного волокна составляет около 300 Тбит/с, что превышает объем всего Интернет-трафика. С учетом того, что в выпускаемых сегодня кабелях может находиться до 864 волокон, можно говорить о неограниченной полосе пропускания оптических сетей связи.
- ▶ Кроме того, появляются новые полностью оптические сетевые устройства, обрабатывающие трафик без преобразования оптических сигналов в электрические и обратно

Бескабельные каналы связи

- ▶ Кроме кабельных каналов в компьютерных сетях иногда используются также бескабельные каналы. Их главное преимущество состоит в том, что не требуется никакой прокладки проводов (не надо делать отверстий в стенах, закреплять кабель в трубах и желобах, прокладывать его под фальшполами, над подвесными потолками или в вентиляционных шахтах, искать и устранять повреждения). К тому же компьютеры сети можно легко перемещать в пределах комнаты или здания, так как они ни к чему не привязаны.
- ▶ Радиоканал использует передачу информации по радиоволнам, поэтому теоретически он может обеспечить связь на многие десятки, сотни и даже тысячи километров. Скорость передачи достигает десятков мегабит в секунду (здесь многое зависит от выбранной длины волны и способа кодирования).

- ▶ Особенность радиоканала состоит в том, что сигнал свободно излучается в эфир, он не замкнут в кабель, поэтому возникают проблемы совместимости с другими источниками радиоволн (радио- и телевещательными станциями, радарам, радиолюбительскими и профессиональными передатчиками и т.д.). В радиоканале используется передача в узком диапазоне частот и модуляция информационным сигналом сигнала несущей частоты.
- ▶ Главным недостатком радиоканала является его плохая защита от прослушивания, так как радиоволны распространяются неконтролируемо. Другой большой недостаток радиоканала - слабая помехозащищенность.

- ▶ Для локальных беспроводных сетей (WLAN - Wireless LAN) в настоящее время применяются подключения по радиоканалу на небольших расстояниях (обычно до 100 метров) и в пределах прямой видимости. Чаще всего используются два частотных диапазона - 2,4 ГГц и 5 ГГц. Скорость передачи - до 54 Мбит/с (в 2009-м году утвердили стандарт 802.11n, который позволял достигать скорость 150Мбит/с при одной антенне и даже более при большем количестве антенн). Распространен вариант со скоростью 11 Мбит/с.
- ▶ Сети WLAN позволяют устанавливать беспроводные сетевые соединения на ограниченной территории (обычно внутри офисного или университетского здания или в таких общественных местах, как аэропорты). Они могут использоваться во временных офисах или в других местах, где прокладка кабелей неосуществима, а также в качестве дополнения к имеющейся проводной локальной сети, призванного обеспечить пользователям возможность работать, перемещаясь по зданию.

- ▶ Популярная технология Wi-Fi (Wireless Fidelity) позволяет организовать связь между компьютерами числом от 2 до 15 с помощью концентратора (называемого точкой доступа, Access Point, AP), или нескольких концентраторов, если компьютеров от 10 до 50. Кроме того, эта технология дает возможность связать две локальные сети на расстоянии до 25 километров с помощью мощных беспроводных мостов. Для примера на [рис. 2.7](#) показано объединение компьютеров с помощью одной точки доступа. Важно, что многие мобильные компьютеры (ноутбуки) уже имеют встроенный контроллер Wi-Fi, что существенно упрощает их подключение к беспроводной сети.

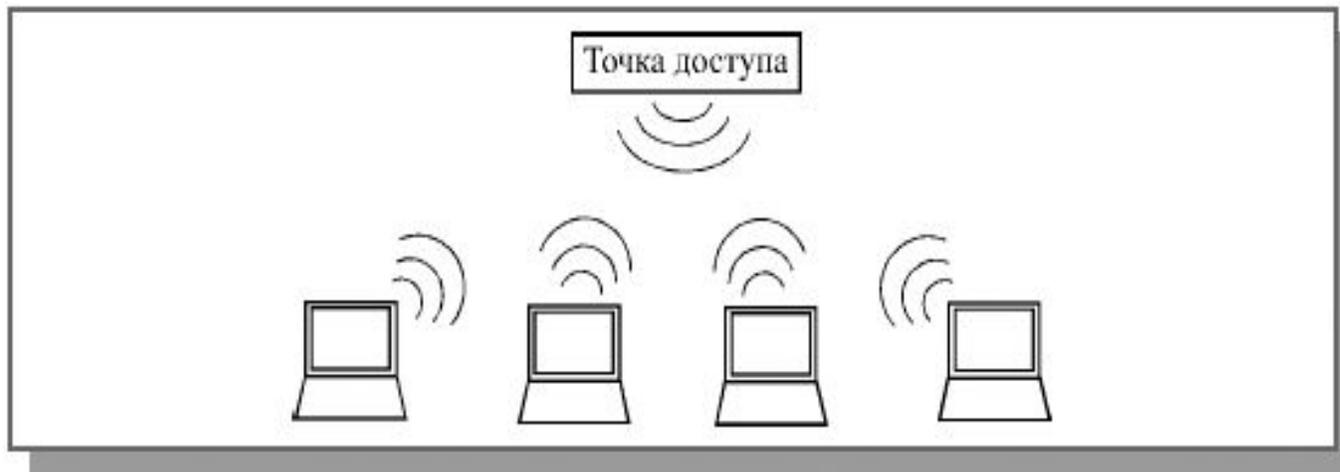


Рис. 2.7. Объединение компьютеров с помощью технологии Wi-Fi

- ▶ Радиоканал широко применяется в глобальных сетях как для наземной, так и для спутниковой связи. В этом применении у радиоканала нет конкурентов, так как радиоволны могут дойти до любой точки земного шара.
- ▶ Инфракрасный канал также не требует соединительных проводов, так как использует для связи инфракрасное излучение (подобно пульту дистанционного управления домашнего телевизора). Главное его преимущество по сравнению с радиоканалом - нечувствительность к электромагнитным помехам, что позволяет применять его, например, в производственных условиях, где всегда много помех от силового оборудования. Правда, в данном случае требуется довольно высокая мощность передачи, чтобы не влияли никакие другие источники теплового (инфракрасного) излучения. Плохо работает инфракрасная связь и в условиях сильной запыленности воздуха.

- ▶ Скорости передачи информации по инфракрасному каналу обычно не превышают 5–10 Мбит/с, но при использовании инфракрасных лазеров может быть достигнута скорость более 100 Мбит/с. Секретность передаваемой информации, как и в случае радиоканала, не достигается, также требуются сравнительно дорогие приемники и передатчики. Все это приводит к тому, что применяют инфракрасные каналы в локальных сетях довольно редко. В основном они используются для связи компьютеров с периферией (интерфейс IrDA).

Инфракрасные каналы делятся на две группы:

- ▶ Каналы прямой видимости, в которых связь осуществляется на лучах, идущих непосредственно от передатчика к приемнику. При этом связь возможна только при отсутствии препятствий между компьютерами сети. Зато протяженность канала прямой видимости может достигать нескольких километров.
- ▶ Каналы на рассеянном излучении, которые работают на сигналах, отраженных от стен, потолка, пола и других препятствий. Препятствия в данном случае не помеха, но связь может осуществляться только в пределах одного помещения.

Если говорить о возможных топологиях, то наиболее естественно все беспроводные каналы связи подходят для топологии типа шина, в которой информация передается одновременно всем абонентам. Но при использовании узконаправленной передачи и/или частотного разделения по каналам можно реализовать любые топологии (кольцо, звезда, комбинированные топологии) как на радиоканале, так и на инфракрасном канале.