

## Лабораторная работа №6

# ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ XDSL ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ НА «ПОСЛЕДНЕЙ МИЛЕ»

Сокращение DSL расшифровывается как Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия). DSL является достаточно новой технологией, позволяющей значительно расширить полосу пропускания старых медных телефонных линий, соединяющих телефонные станции с индивидуальными абонентами.

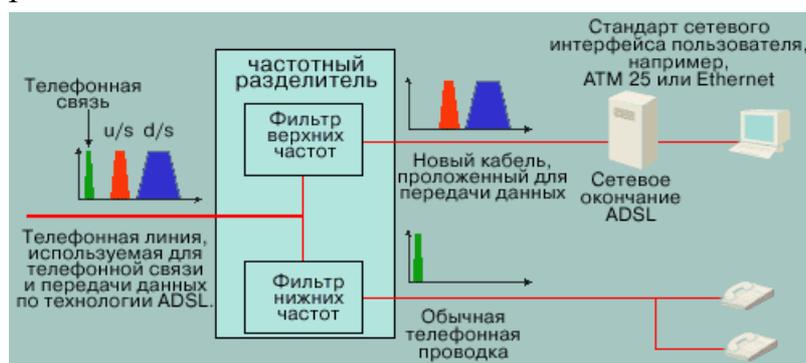
### Различные типы технологий DSL и краткое описание их работы

DSL объединяет следующие технологии.

**ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия)

Данная технология является асимметричной, то есть скорость передачи данных от сети к пользователю значительно выше, чем скорость передачи данных от пользователя в сеть. Такая асимметрия, в сочетании с состоянием «постоянно установленного соединения», делает технологию ADSL идеальной для организации доступа в сеть Интернет, доступа к локальным сетям (ЛВС) и т.п. При организации таких соединений пользователи обычно получают гораздо больший объем информации, чем передают. Технология ADSL обеспечивает скорость «нисходящего» потока данных (от станции в сторону пользователя) в пределах от 1,5 Мбит/с до 8 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных (направление от пользователя в сторону станции) от 640 Кбит/с до 1,5 Мбит/с. ADSL позволяет передавать данные со скоростью 1,54 Мбит/с на расстояние до 5,5 км по одной витой паре проводов. Скорость передачи порядка 6 — 8 Мбит/с может быть достигнута при передаче данных на расстояние не более 3,5 км по проводам диаметром 0,5 мм.

ADSL использует технологию FDD (частотное разделение для обеспечения дуплексной связи), которая позволяет выделить одну полосу частот для восходящего потока данных, а другую полосу частот — для нисходящего потока данных. Это позволяет расширить используемую полосу частот приблизительно до 1 МГц. На рисунке 1 показан пример использования технологии FDD для разделения восходящего и нисходящего потоков данных и сплиттера.



**R-ADSL** (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения)

**G . Lite (ADSL.Lite)** представляет собой более дешёвый и простой в установке вариант технологии ADSL, обеспечивающий скорость «нисходящего» потока данных до 1,5 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных до 512 Кбит/с или по 256 Кбит/с в обоих направлениях.

**IDSL** (ISDN Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия IDSN)

Технология IDSL обеспечивает полностью дуплексную передачу данных на скорости до 144 Кбит/с. В отличие от ADSL возможности IDSL ограничиваются только передачей данных.

**HDSL** (High Bit-Rate Digital Subscriber Line — высокоскоростная цифровая абонентская линия)

Технология HDSL предусматривает организацию симметричной линии передачи данных. Благодаря скорости передачи (1,544 Мбит/с по двум парам проводов и 2,048 Мбит/с по трем парам проводов) телекоммуникационные компании используют технологию HDSL в качестве альтернативы линиям T1/E1. Хотя расстояние, на которое система HDSL передает данные (а это порядка 3,5 — 4,5 км), меньше, чем при использовании технологии ADSL, для недорогого, но эффективного, увеличения длины линии HDSL телефонные компании могут установить специальные повторители. Использование для организации линии HDSL двух или трех витых пар телефонных проводов делает эту систему идеальным решением для соединения УАТС, серверов Интернет, локальных сетей и т.п.

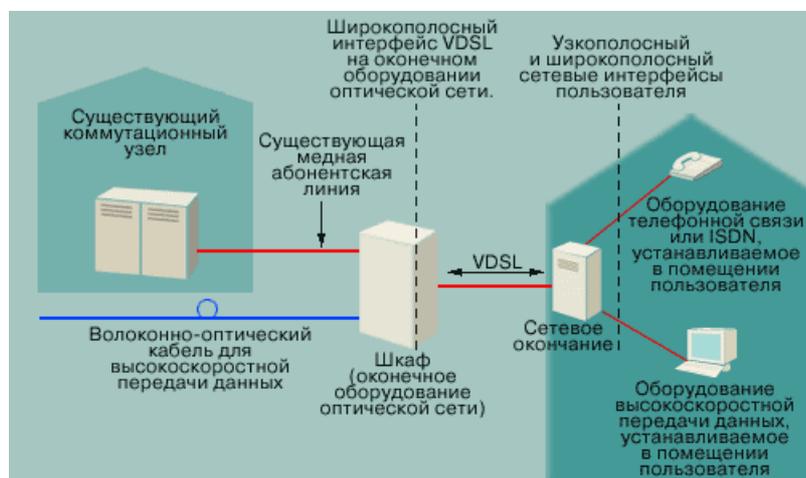
**SDSL** (Single Line Digital Subscriber Line — однолинейная цифровая абонентская линия)

Технология SDSL имеет два важных отличия от HDSL. Во-первых, используется только одна витая пара проводов, а во-вторых, максимальное расстояние передачи ограничено 3 км. В пределах этого расстояния технология SDSL обеспечивает, например, работу системы организации видеоконференций.

**VDSL** (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line — сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия)

Технология VDSL является наиболее «быстрой» технологией xDSL. Она обеспечивает скорость передачи данных «нисходящего» потока в пределах от 13 до 52 Мбит/с, а скорость передачи данных «восходящего» потока в пределах от 1,5 до 2,3 Мбит/с, причем по одной витой паре телефонных проводов. В симметричном режиме поддерживаются скорости до 26 Мбит/с. Максимальное расстояние передачи данных для этой технологии составляет от 300 метров до 1300 метров. Технология VDSL может использоваться с теми же целями, что и ADSL; кроме того, она может использоваться для передачи сигналов телевидения высокой четкости (HDTV), видео по запросу и т.п.

Данная технология может быть успешно внедрена путем сокращения эффективной длины абонентской линии за счет расширения сети волоконно-оптических линий и их внедрения в существующую сеть доступа. Такая архитектура известна как FTTC (Fibre to the Cabinet, т.е. волоконно-оптический кабель до монтажного шкафа). концепция VDSL показана на рисунке 2.



Повышение скорости передачи ведет к снижению качества принимаемого сигнала и росту уровня помех, которые данный канал вносит в работу соседних каналов. Для решения этих проблем в совокупности применяются специальные методы линейного кодирования (алгоритмы модуляции),

позволяющие передавать данные с достаточно высокими скоростями. При этом передаваемые в линию сигналы имеют такие параметры, которые обеспечивают возможность достоверного приема и не оказывают катастрофического влияния на работу соседних информационных каналов.

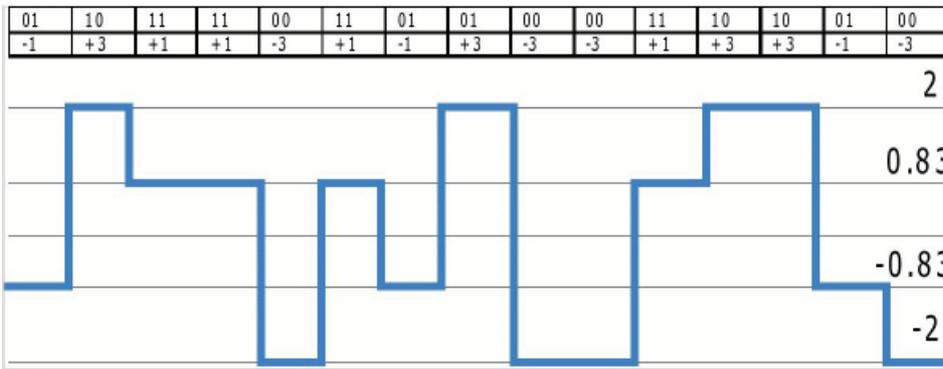
Алгоритм **2B1Q** представляет собой один из вариантов реализации амплитудно-импульсной модуляции с четырьмя уровнями выходного напряжения без возвращения к нулевому уровню (NRZ).

Кодовая группа	Кодовый символ
00	-3
01	-1
10	+3
11	+1

Для формирования линейного кода входной информационный поток делится на кодовые группы по два бита в каждой. В зависимости от комбинации значений битов кодовой группы ей ставится в соответствие один из четырёх кодовых символов, каждому из которых, в свою очередь, соответствует один из уровней напряжения.

Поскольку в данном случае двум битам сигнала ставится в соответствие один кодовый символ, информационная скорость (data rate, скорость передачи данных) вдвое превышает символьную (symbol rate) - это означает, что модуляционная схема 2B1Q обеспечивает постоянную величину спектральной эффективности модулированного сигнала = 2бита/Гц.

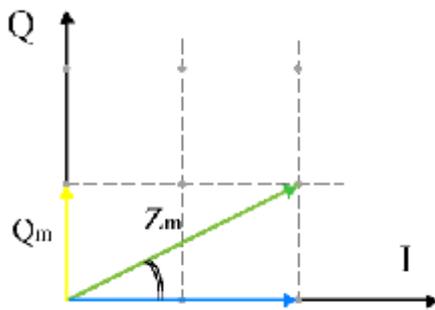
Алгоритм 2B1Q не обеспечивает поддержание баланса положительных и отрицательных импульсов выходного напряжения и, следовательно, входной код 2B1Q должен быть предварительно обработан специальными процедурами, которые должны обеспечить подавление постоянной составляющей.



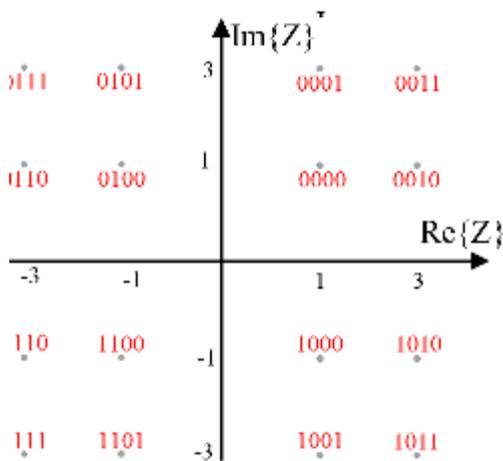
Системы передачи данных, которые используют алгоритм 2В1Q, способны обеспечить скорость передачи от 64 кбит/с до 2320 кбит/с.

Алгоритм квадратурной амплитудной модуляции (**QAM** - Quadrature Amplitude Modulation) представляет собой разновидность многопозиционной амплитудно-фазовой модуляции. Этот алгоритм широко используется в современных модемах для каналов ТЧ (коммутируемые линии).

При использовании данного алгоритма передаваемый сигнал кодируется одновременными изменениями амплитуды синфазной (I) и квадратурной (Q) компонент несущего гармонического колебания ( $f_c$ ), которые сдвинуты по фазе друг относительно друга на  $\pi/2$ . Результирующий сигнал  $Z$  формируется в результате суммирования этих колебаний.



Таким образом, при использовании квадратурной амплитудной модуляции передаваемая информация кодируется одновременными изменениями амплитуды и фазы несущего колебания. На рисунке представлен принцип формирования результирующего колебания  $Z$  (вектор отмечен зеленым цветом) путем суммирования



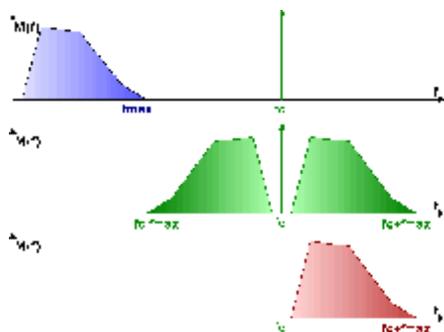
вектора квадратурной составляющей  $Q$  (желтый) с вектором синфазной составляющей  $I$  (синий). Для данного алгоритма существенно, что при модулировании синфазной и квадратурной составляющей несущего колебания используется одно и то же значение шага изменения амплитуды. Поэтому окончания векторов модулированного колебания образуют прямоугольную сетку на фазовой плоскости действительной -  $Re\{Z\}$  и мнимой -  $Im\{Z\}$  составляющих вектора модулированного сигнала.

Число узлов этой сетки определяется типом используемого алгоритма QAM. Схему расположения узлов на фазовой плоскости модулированного QAM колебания принято называть созвездием (constellation).

На приведенном выше рисунке представлено расположение векторов модулированного колебания - созвездие для алгоритма QAM-16. Красным цветом

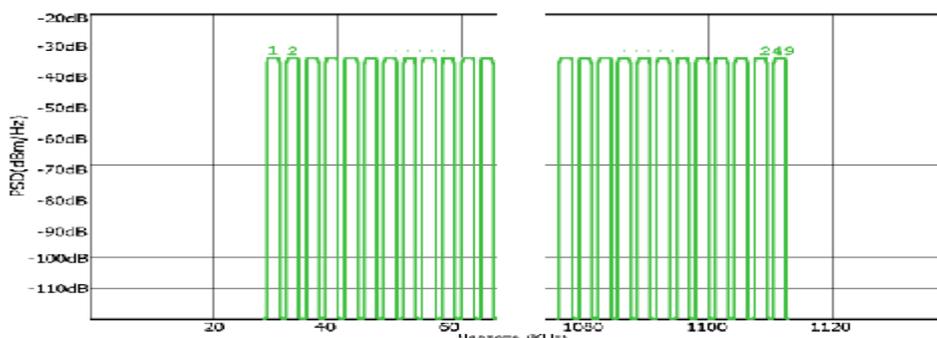
отмечены значения модуляционных символов, которым соответствуют указанные точки фазовой плоскости модулированного колебания  $\{m_3, m_2, m_1, m_0\}$ .

Алгоритм амплитудно-фазовой модуляции с подавлением несущей carrier (CAP) является одним из наиболее широко используемых в настоящее время на DSL-линиях методов модуляции.



Синим цветом на рисунке (см. ниже) отмечен спектр передаваемого полезного сигнала. Максимальная частота этого сигнала имеет значение  $f_{max}$ . Частота модулирующего колебания-носителя имеет значение  $f_c$ . После выполнения процедуры гармонической амплитудной модуляции спектр полезного сигнала переносится в область частоты  $f_c$  и

приобретает зеркальные составляющие. На рисунке этот спектр помечен зеленым цветом. Для восстановления переданного сигнала на приемной стороне достаточно передать только одну из зеркальных компонент спектра модулированного сигнала. Гармоника с частотой  $f_c$  также является компонентом спектра модулированного сигнала, однако при восстановлении сигнала без неё также можно обойтись. Теоретически, амплитуда этой гармоники несет информацию об уровне постоянной составляющей передаваемого сигнала (составляющая спектра сигнала с частотой = 0). В силу этого данная гармоника не является в полной мере информативной, и её потеря не повлияет на качество восстановленного сигнала. Хотя исключение гармоники  $f_c$  из передаваемого сигнала ведет к возникновению определенных трудностей при восстановлении сигнала, эта процедура вполне оправдана, поскольку позволяет существенно снизить уровень неинформативного сигнала, передаваемого в линию. Красным цветом на рисунке показан спектр модулированного колебания, который сформирован в соответствии с принципами алгоритма CAP.



Алгоритм **DMT** построен по принципиально иной, чем у представленных выше алгоритмов, схеме. В отличие от QAM, данный алгоритм

использует не одну частоту, а группу несущих частот. При использовании этого алгоритма модуляции весь расчетный диапазон частот линии делится на несколько участков шириной по 4.3125 кГц. Каждый из этих участков используется для организации независимого канала передачи данных.

## Выбор xDSL-модемов для организации "последней мили" с учетом реальных параметров кабеля

Выбор xDSL модемов - учитывая большой ассортимент xDSL-модемов и интегрированных устройств доступа (IAD), быстрое развитие xDSL-технологий и обширную область решаемых задач, каждая из которых предъявляет специфические требования к оборудованию - непрост.

Среди основных областей использования выделенной линии можно отметить следующие наиболее часто встречающиеся задачи:

- Организация цифрового тракта для межстанционных связей (МСС).
- Организация канала связи между удаленной базовой станцией и контроллером сотовой сети.
- Организация канала связи между сетью клиента и точкой присутствия интернет-провайдера.
- Организация канала связи между удаленной подсетью организации и основной корпоративной сетью.
- Организация канала связи между точкой присутствия и центральным узлом оператора.

Основные параметры, влияющие на выбор xDSL-технологии, приведены в таблице 1. Ниже представлен график зависимости скоростей передачи данных от расстояния для различных xDSL-технологий.

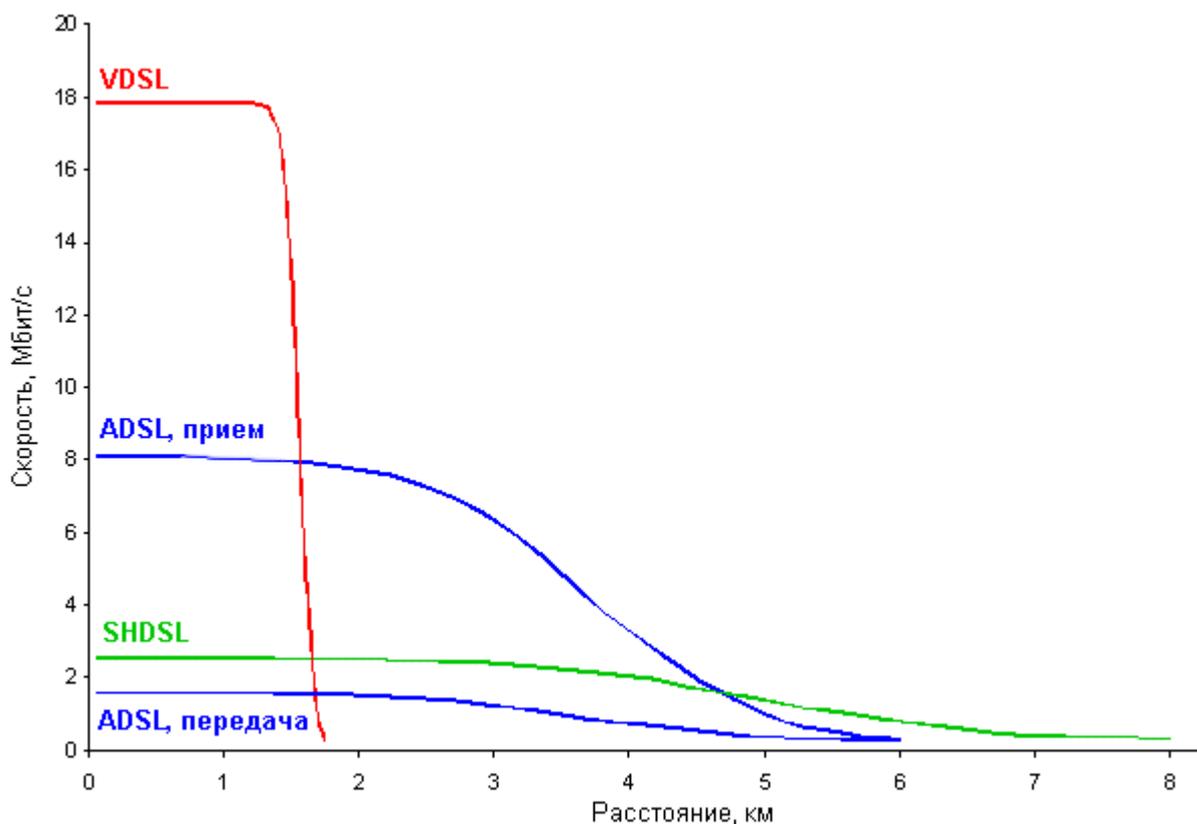


Таблица 1. Сравнение xDSL-технологий

Критерий	ADSL	G.SHDSL	VDSL
Число пар в линии	1	До 4-х	До 2-х
Протяженность линии сечением 0.4	До 5 км	До 9 км без регенерации До n*9 км с регенерацией	До 1.2 км по одной паре До 2 км по двум парам
Максимальная скорость	8/0,8 Мбит/с – ADSL 12/1 Мбит/с - ADSL2 24/2 Мбит/с - ADSL2+ 48/3 Мбит/с - ADSL2++	2.3 Мбит/с по одной паре 4.6 Мбит/с по двум парам. Не так давно появились реализации 4.6 Мбит/с по одной паре и 6.1 Мбит/с по двум парам	18/16 Мбит/с при QAM 50/30 Мбит/с при DMT
Регенерация	Не реализована	Реализована в оборудовании для организации синхронных цифровых каналов	Не реализована
Пользовательские интерфейсы	Ethernet, телефонный порт (при наличии сплиттера)	E1, V35, V24/V28, Ethernet, FXS и FXO (для IAD)	Ethernet, телефонный порт (при наличии сплиттера)
Режим работы	В качестве CPE совместно с DSLAM	Точка-точка и в качестве CPE совместно с DSLAM	Точка-точка и в качестве CPE совместно с DSLAM
Сервисы	Передача данных с характерным для интернет-приложений превышением скорости входящего трафика над исходящим. Оптимально для асимметричного интернет-трафика HTTP, FTP-downloading, NNTP, радиовещание по IP.	Передача данных с одинаковой скоростью входящего и исходящего трафика. Оптимально для трафика мультисервисных приложений. Передача симметричного голосового трафика TDM ЦСЛ и VoIP, файловый обмен, передача интернет-трафика.	Передача данных со скоростью, близкой к Ethernet. Оптимально для трафика IP TV вещания, видео по запросу, IP радиовещания, высокоскоростного файлового обмена, интернет приложений.
Качество сервиса	Критичная для приложений реального времени задержка. Постоянное изменение скорости передачи данных в зависимости от зашумленности линии	Гарантированная скорость передачи данных, низкий уровень ошибок ( $<10^{-7}$ ) и малое время ( $<2$ мс) задержки кодирования упреждающей коррекции ошибок.	Гарантируется заданная скорость передачи данных при удовлетворении условий по мин. соотношению сигнал/шум SNR и минимальной квадратичной ошибке MSE.
Рекомендуемые области применения	Использование в качестве клиентских мостов/маршрутизаторов для доступа в Интернет. С появлением ADSL2 может использоваться для передачи трафика видео по требованию, широковещательного IP радиовещания и IP/TV вещания.	Для организации цифровых каналов связи между АТС, базовыми станциями и контроллером в сотовых сетях, для организации каналов ведомственных и технологических сетей, для организации соединений удаленных офисов в корпоративных сетях.	Для организации высокоскоростных каналов передачи данных и видео между рядом расположенными объектами, например, в качестве клиентских мостов для подключения к провайдеру клиентов.

При организации линейного тракта на xDSL-оборудовании пользователя интересуют два основных параметра: максимальная дальность участка связи при заданных скорости передачи и качестве связи и максимальная скорость передачи при заданной длине участка связи и качестве. Они напрямую зависят от выбранной xDSL-технологии и параметров линии связи.

Для предварительной оценки этих значений можно использовать данные о длине, сечении жилы и типе кабеле. Оценка этих параметров лежит в основе идеализированных расчетов, результаты которых, приводятся производителями xDSL оборудования в виде таблиц (таблицы 2 (ADSL), 3 (SHDSL), 4 (VDSL)). Для случая, когда кабель в хорошем состоянии и используется только для низкочастотной телефонии - то есть отсутствует влияние работающих на соседних парах высокочастотных систем - следует максимальные значения дальности (колонка MAX). Для учета влияния на параметры линейного тракта помех от других систем, работающих в том же кабеле, используются значения для худшего случая (колонка MIN).

Таблица 2. Дальность работы ADSL (в км, в зависимости от типа кабеля)

Линейная скорость (кбит/с)		ТПП 0,4		ТПП 0,5	
Download	Upload	MAX	MIN	MAX	MIN
8064	1024	2.3	1.4	3.2	2
8032	1024	2.4	1.6	3.4	2.3
7648	960	2.6	1.7	3.7	2.4
7584	896	2.7	1.8	3.8	2.5
6624	896	2.9	1.9	4.1	2.7
5920	896	3.1	2	4.3	2.8
5184	832	3.2	2.1	4.6	2.9
4352	800	3.3	2.2	4.7	3
4000	736	3.5	2.3	4.9	3.2
3680	704	3.7	2.4	5.2	3.4
3072	576	3.8	2.4	5.3	3.4
2787	544	4	2.6	5.6	3.7
2336	480	4.1	2.7	5.8	3.8
1856	416	4.2	2.8	5.9	3.9
1600	352	4.4	2.9	6.2	4.1
1312	352	4.6	3	6.5	4.2
960	256	4.7	3.1	6.6	4.3
768	192	4.9	3.2	6.8	4.4
544	192	5	3.2	7.1	4.6

Таблица 3. Дальность работы SHDSL (в км, в зависимости от типа кабеля)

Линейная скорость (кбит/с)	ТПП 0,4		ТПП 0,5		КСПП 0,9		МКСБ 1,2	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
2312	3.8	2.9	4.8	3.7	10.6	8.1	18.7	14.3
2056	3.9	3.1	5	3.9	10.9	8.7	19.2	15.4
1544	4.2	3.3	5.4	4.2	11.7	9.2	20.7	16.2
1168	4.8	3.8	6.1	4.9	13.4	10.7	23.6	18.9
1032	5.1	4.2	6.5	5.3	14.2	11.6	25.1	20.5
776	5.3	4.6	6.8	5.9	14.7	12.9	26.1	22.8
520	5.7	4.9	7.3	6.2	15.9	13.5	28	23.9
392	6	5.7	7.6	7.3	16.7	15.9	29.5	28.2
200	6.5	6.1	8.3	7.8	18.1	17	32	30.1

Таблица 4. Дальность работы VDSL (в километрах, в зависимости от типа кабеля)

Линейная скорость (Мбит/с)		ТПП 0,4	ТПП 0,5
Download	Upload	(по двум парам)	(по двум парам)
12.5	12.5	0.8	0.8
9.38	9.38	1.2	1.4
6.25	6.25	1.6	1.8
4.7	4.7	1.8	2.0
3.14	3.14	2.0	2.2

Однако полученные с помощью таблиц 2-4 данные длины участка связи или скорости, являются предварительными и не отражают реального состояния линии. Реальные результаты могут отличаться в худшую (реже в лучшую) сторону на 10-30%. Основные факторы, которые оказывают влияние на эти отклонения:

- Наличие переходных помех от цифровых и аналоговых систем передачи в соседних парах кабеля.
- Наличие промышленных помех.
- Повышенное рабочее и переходное затухание вследствие:
  - высокого сопротивления жил из-за нарушения и окисления контактов;
  - пониженного сопротивления изоляции и наличия емкостной связи между проводниками и землей из-за увлажнения или затопления кабеля водой;
  - наличия неоднородности волнового сопротивления из-за неупорядоченности кроссировки и использования участков кабелей с различным диаметром жил;
  - наличия отводов и элементов пупинизации.

## Задание к лабораторной работе

1 Начертить в протоколе график зависимости скоростей передачи данных от расстояния для различных xDSL-технологий.

2 В соответствии с заданием (табл. 5) определить оптимальную технологию для организации связи на «последней миле», для этого:

- Построить зависимость скорости от протяженности линии для заданного типа кабеля и всех перечисленных технологий.
- Определить возможность работы технологии на заданной протяженности линии и максимальную скорость передачи для нее.
- Выбрать соответствующую xDSL технологию в соответствии с предназначением абонентского трафика. Обосновать свой выбор.

Таблица 5. Варианты заданий

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
Тип кабеля	ТПП 0,4	ТПП 0,5	ТПП 0,4	ТПП 0,5	ТПП 0,4	ТПП 0,5	ТПП 0,4	ТПП 0,5
Условия эксплуатации	НЧ телефония	НЧ телефония	Линейный тракт	Линейный тракт	НЧ телефония	НЧ телефония	Линейный тракт	Линейный тракт
Протяженность АЛ, км для каждого члена бригад	1	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15	16
	2,5	3,4	6,5	7,5	4,1	5,6	8,7	4
	1,8	2,9	5,2	4,3	5	7,2	4,1	3,6
Предназначение	HTTP	радио	FTP	голос	NNTP	видео	TV	файлы

### Ключевые вопросы

1 Сравнение видов DSL технологий между собой

2 Виды модуляции, используемые в технологии xDSL. Достоинства и недостатки.

3 Основные факторы, влияющие на выбор технологии для организации связи на «последней миле».