



УДК 621.396

**LABORATORY STAND FOR RESEARCH EQUIPMENT ADSL  
ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ADSL****Savochkin A.A. / Савочкин А.А.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1934-4300

SPIN: 4303-0857

Sevastopol state university, Sevastopol, Universitetskaya 33, 299053

Севастопольский государственный университет, Севастополь, ул. Университетская 33,  
299053

**Аннотация.** В работе обоснована структура лабораторного стенда для исследования интерфейса цифровой абонентской линии (*Digital Subscriber Line, DSL*) и выполнена разработка методики проведения исследований. Показано, что путем применения данного подхода обеспечивается возможность исследования интерфейса *DSL* как с точки зрения информационных возможностей, так и с точки зрения физических процессов в линии связи.

**Ключевые слова:** цифровая абонентская линия, скорость передачи информации, *ADSL*, многотональная модуляция

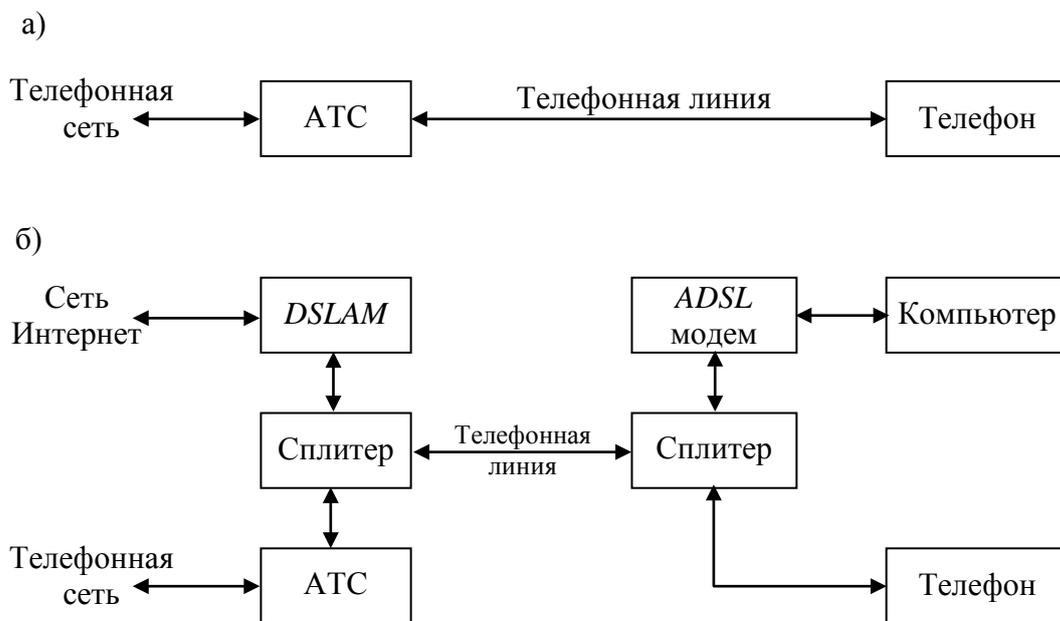
**Введение**

В настоящее время в мире используется более 700 млн. телефонных каналов, которые могут использоваться для организации систем цифровой связи [1]. Развитие технологии в этом направлении привело к использованию цифровой абонентской линии *DSL*, которая позволяет любому абоненту проводной телефонной связи, получить для использования цифровой канал со скоростью передачи данных до 50 Мбит/с. При этом скорость передачи данных зависит от параметров и протяженности линии [2]. Таким образом, *DSL* представляет собой семейство технологий высокоскоростного доступа к сетевым услугам по существующей проводной абонентской линии.

К семейству технологий *xDSL* относятся: *ADSL*, *HDSL*, *RADSL*, *SDSL*, *SHDSL*, *VDSL*. Основным различием данных технологий является вид модуляции, используемый для кодирования данных. Некоторые технические характеристики технологий приведены в [1].

Ассиметричная цифровая абонентская линия (*Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL*) обеспечивает асимметричный обмен данными, т.е. скорость передачи от сети к пользователю существенно выше, чем скорость передачи данных от пользователя в сеть. Такой подход оправдан в большинстве практических случаев. На рис. 1 показан структурная схема, поясняющая процесс преобразования телефонного подключения (рис. 1, а) в систему абонентского доступа *ADSL* (рис. 1, б). На рис. 1 использованы следующие обозначения: АТС — автоматическая телефонная станция, *DSLAM* (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) — мультиплексор доступа цифровой абонентской линии.

Оборудование *DSLAM* выполняет функции преобразования сигналов *ADSL* в ячейки *Asynchronous Transfer Mode (ATM)*, которые затем передаются в сеть. Разделение сигналов по направлению к абоненту и от абонента производится методом частотного разделения.



**Рис. 1 — Преобразование структурной схемы телефонного соединения в соединение ADSL**

Для обеспечения частотного разделения сигналов по обеим сторонам телефонной линии устанавливаются разветвители сигналов (сплитеры), которые выполняют функции разделения между цепями телефонии и широкополосного доступа *ADSL* (см. рис. 1). Технология *ADSL* стандартизирована в рекомендациях *ITU-T G992.1*. Соответственно рекомендации, определяющие применение технологии *ADSL*, приведены в Приложении А (*Annex A*) к этому стандарту, а описание технологии *ASDL* поверх технологии *ISDN* — в Приложении В (*Annex B*). На отечественных сетях системы *ISDN* используются редко, но возможно использование *ADSL Annex B*, когда частоты в диапазоне до 80 кГц используются для передачи телефонного сигнала и сигнала систем охраны, а частоты более 80 кГц используются для *ADSL*.

Целью работы является разработка методики изучения принципов организации технологии *ADSL* и экспериментального определения характеристик оборудования *ADSL* в различных режимах работы.

**Характеристика сигнальных преобразований на уровне *ADSL***

Процесс формирования сигналов *ADSL* выполняется в виде последовательности операций преобразования сигналов, приведенной в табл. 1.

**Таблица 1**

**Операции формирования сигналов в системе *ADSL***

Номер этапа	Наименование операции
1	Формирование данных
2	Формирование ячеек <i>ATM</i>
3	Образование цикла
4	Образование сверхцикла
5	Прямое корректирующее кодирование
6	Скремблирование
7	Формирование сигналов <i>256 DMT</i>
8	Модуляция <i>QAM</i> на каждой несущей



Сначала данные преобразуются в поток ячеек *ATM*. При этом формируется до семи независимых потоков ячеек. Затем мультиплексор формирует цикловую и сверхцикловую структуру данных, к полученным данным в виде кадров добавляются поля контроля ошибок, и выполняется помехоустойчивое кодирование.

Самым продолжительным по времени элементом сигнала *ADSL* является сверхкадр, который имеет длительность 17 мс и состоит из 68 информационных кадров, пронумерованных от 0 до 67, и одного кадра синхронизации. Каждый кадр *ADSL*, включая кадр синхронизации, соответствует одному *ADSL* символу. Частота следования кадров составляет 4,0588 кГц, а частота следования информационных кадров — 4 кГц.

Полученный поток проходит процедуру скремблирования, за счет чего обеспечивается линеаризация его параметров. Последующее кодирование кодом, исправляющим ошибки (прямое корректирующее кодирование) выполняется кодом Рида-Соломона [3]. В *ADSL* используется параллельная передача сигналов на большом множестве сигналов переносчиков методом дискретной многотональной модуляции (*Discrete Multi Tone, DMT*). Для формирования *ADSL* сигнала в канале используется 256 несущих частот, которые разнесены по частоте на 4312,5 Гц. Такая методика позволяет повысить эффективность использования полосы частот за счет возможности учета селективных шумовых влияний на параметры передачи.

Для *ADSL* число разрядов на одну несущую может составлять от 2 до 15 включительно или быть равным нулю (в *ADSL2* и *ADSL2+* обеспечивается возможность передачи одного разряда в канале) [3]. Максимальное число несущих частот, которое может быть использовано для передачи «вниз» и «вверх» при использовании стандарта *ADSL* не превышает 255. Практически число используемых несущих частот для модема *ADSL* достигает 200. Некоторые несущие частоты, например, с номерами 16 и 64 (частоты 69 и 276 кГц) рекомендованы для стандарта *ADSL* в качестве пилот-сигналов для передачи синхронизирующей информации соответственно «вверх» и «вниз».

### **Адаптация параметров модуляции к характеристикам линии в системах *ADSL***

При использовании технологии *DMT* объем передаваемой информации на отдельной несущей частоте зависит от соотношения сигнал-шум на данной частоте. В процессе установления связи модем и *DSLAM* выполняют диагностику отношения сигнал-шум на каждой несущей частоте. Если на несущей частоте отношение сигнал-шум оказывается небольшим, то число передаваемых бит в единицу времени на ней устанавливается меньшим. В результате распределение скорости передачи по частоте в абонентской линии повторяет зависимость сигнал-шум от частоты.

Технология *DMT* сочетается с методом *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*. Происходит это в следующем порядке:

- в процессе настройки параметров передачи или приема на отдельной несущей частоте устанавливается уровень передачи сигнала;
- определяется отношение сигнал-шум для данной несущей частоты;



— выбирается допустимый для данного отношения сигнал-шум вариант модуляции *QAM*.

За счет применения такой методики регулируется уровень помехозащищенности передачи и допустимой скорости передачи на данной несущей частоте. Неравномерность АЧХ приводит к тому, что на различных частотах используются различные варианты *QAM*. Наличие селективной помехи в определенном диапазоне частот делает передачу на нескольких несущей затруднительной, поэтому для них выбирается более помехозащищенный вариант модуляции *QAM* с меньшим числом возможных сигналов. В результате скорость передачи информации на «поврежденных» несущих будет минимальной, но передача все равно — успешной.

Следовательно, в *ADSL* системах реализуется единый двухшаговый алгоритм *DTM/QAM*, адаптирующий передачу цифрового потока к параметрам абонентской линии. Развитие технологии *ADSL* можно проследить по данным [1, 4]. В настоящее время актуален стандарт *ITU G.992.5* [4].

Один из наиболее эффективных вариантов технологии является вариант *ADSL2+ Annex M*, который позволяет значительно увеличить скорость передачи в канале от абонента «вверх» за счет перераспределения частот. В этом случае предусмотрено увеличение полосы частот канала «вверх» за счет уменьшения полосы частот канала к абоненту «вниз». Стандарт *G.992.5* предусматривает увеличение граничной частоты  $f_1$  в диапазоне от 138 до 276 кГц [4]. На рис. 2 изображена спектральная маска для передатчика модема в режиме *Double Upstream*.

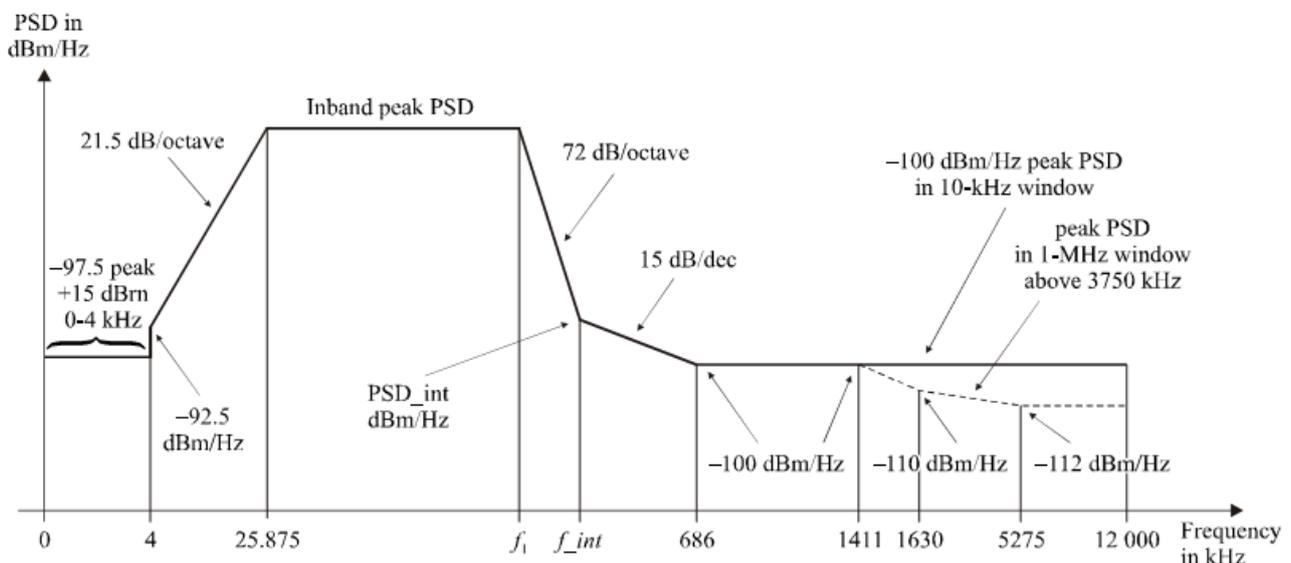


Рис. 2 — Спектральная маска для передатчика модема *ADSL2+*

Низкочастотная граница полосы пропускания в этом случае по отношению к *ADSL* не изменяется и выбрана 25,875 кГц. Высокочастотная граница полосы пропускания частота  $f_1$  может принимать девять значений (138; 155,25; 172,5; 189,75; 207; 224,25; 241,5; 258,75; 276) кГц. При этом максимальное значение частоты  $f_1=276$  кГц позволяет обеспечить максимальную скорость передачи по направлению «вверх» — 3,5 Мбит/с.



### Описание лабораторной установки

Практическая часть исследования выполняется с использованием модемов *Zyxel «P660HTW2 EE»*, которые представляют собой интернет-центр для подключения по технологии *ADSL2+* с двухдиапазонным модемом *Annex A/B*, точкой доступа *Wi-Fi* стандарта *IEEE 802.11g* и четырехпортовым коммутатором [5]. Упрощенная структурная схема лабораторной установки изображена на рис. 3. На схеме показано: ПК — стационарный компьютер. Однако стенд позволяет использовать несколько ПК с индивидуальным подключением к модему по интерфейсам *Ethernet* или *Wi-Fi*.

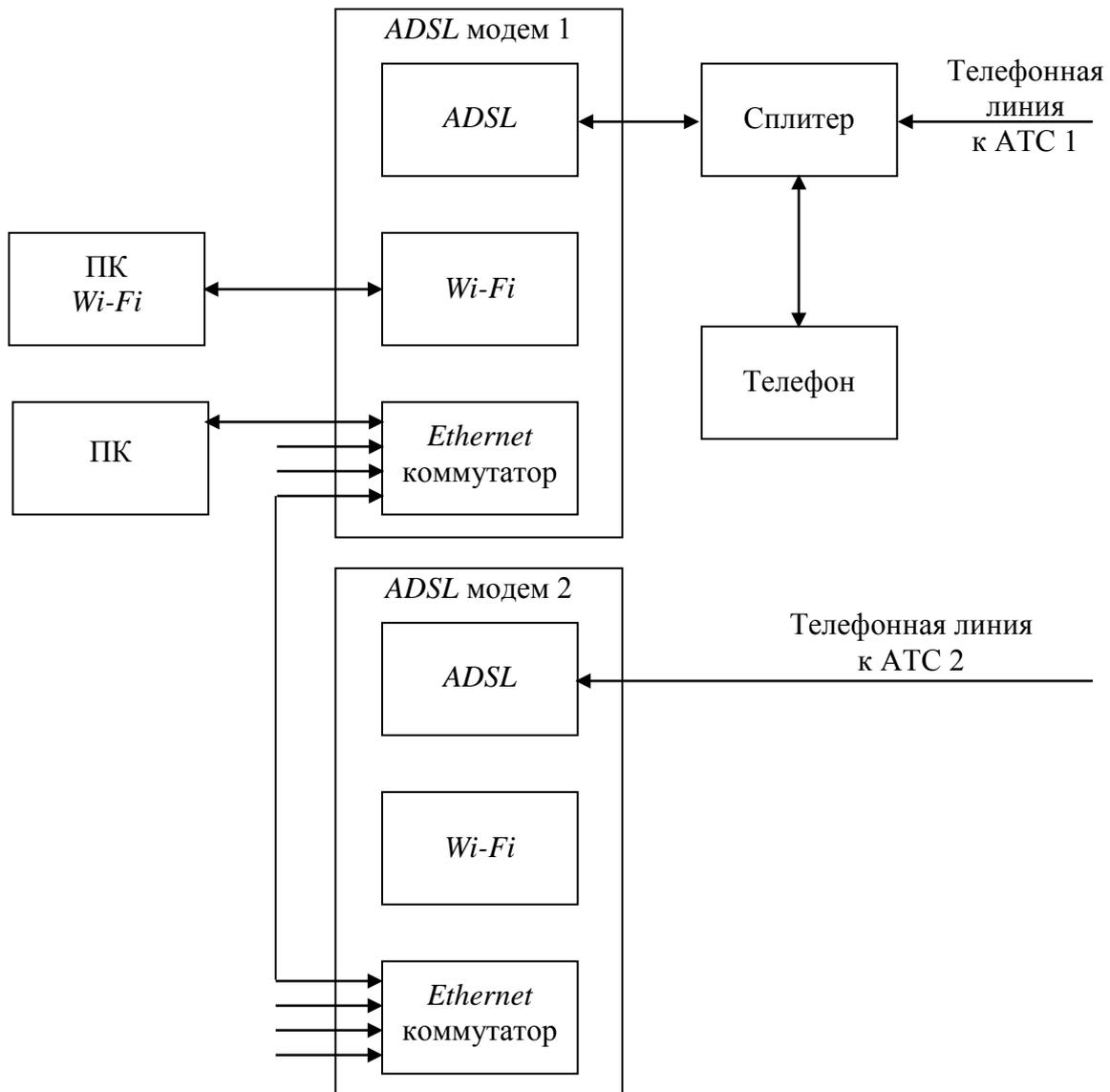


Рис. 3 — Структурная схема подключения лабораторного оборудования

### Методика выполнения исследований

1) Выполнение исследований производится с помощью программного обеспечения, установленного на ПК (см. рис. 3).

2) Проверить на ПК наличие соединения с *ADSL* модемом №1 с помощью команды *ping 192.168.1.1*. Для этого нажать «Пуск» — «Выполнить», и в поле «Открыть» набрать *CMD*, завершив ввод нажатием кнопки «ОК». В поле ввода командной консоли операционной системы набрать команду



*ping* 192.168.1.1. Зафиксировать в электронный протокол среднее значение временной задержки отклика.

3) Проверить на ПК наличие соединения с *ADSL* модемом №2 с помощью команды *ping* 192.168.1.2 . Зафиксировать в электронном протоколе среднее значение временной задержки отклика.

4) Определение параметров *ADSL* соединения производится с использованием тестовой программы *OrbMT Ver.3.42*. При этом сохраняются графики распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №1. После запуска программы следует нажать кнопку *Refresh*. В случае если программа не может установить соединение с модемом, следует проверить тип выбранного модема на закладке «*Settings*» в поле «*Modem type*» и ввести пароль для соединения по протоколу *telnet*.

Пример результата тестирования показан на рис. 4. Сохранить результат тестирования в электронном протоколе.

5) Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №2. После запуска программы следует нажать кнопку *Refresh*.

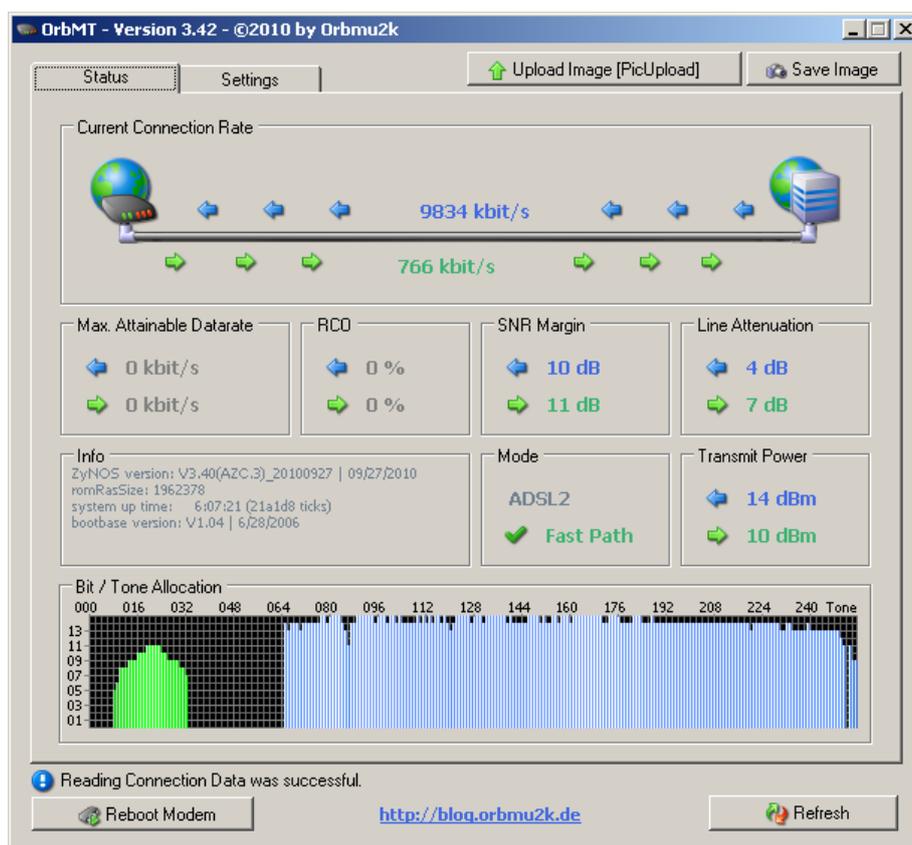


Рис. 4 — Результат тестирования *DSL* линии программой *OrbMT*

6) Отключить кабель телефонной линии от модема №2 и выполнить перезагрузку модема №1, для чего нажать кнопку «*Reboot Modem*» в окне программы *OrbMT*.

7) Проконтролировать загрузку модема №1 по индикаторам на передней панели модема. Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №1



(для этого нажать кнопку *Refresh*).

8) Отключить кабель телефонной линии от модема №1, вернуть штатное подключение к телефонной линии для модема №2 и выполнить перезагрузку модема №2. Для этого нажать кнопку «*Reboot Modem*» в окне программы *OrbMT*.

9) Проконтролировать загрузку модема №2 по индикаторам на передней панели модема. Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №2 (для получения информации нажать кнопку *Refresh*).

Проверка работы модема в условиях ухудшения параметров линии связи

10) Установить фильтр №1 в разрыв телефонной линии модема №1 и выполнить перезагрузку модема №1. При этом телефонный кабель, подведенный к модему №2, должен быть отключен. Фильтр выполнен на основе последовательного резонансного контура, резонансная частота которого находится в диапазоне частот *ADSL* системы.

11) Проконтролировать загрузку модема №1 по индикаторам на передней панели модема. Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №1 (для получения информации нажать кнопку *Refresh*).

12) Установить фильтр №2 в разрыв телефонной линии модема №1 и выполнить перезагрузку модема №1. При этом телефонный кабель к модему №2 должен быть отключен.

13) Проконтролировать загрузку модема №1 по индикаторам на передней панели модема. Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №1 (для получения информации нажать кнопку *Refresh*).

14) Установить последовательно фильтры №1 и №2 (в любой последовательности) в разрыв телефонной линии модема №1 и выполнить перезагрузку модема №1. При этом телефонный кабель к модему №2 должен быть отключен.

15) Проконтролировать загрузку модема №1 по индикаторам на передней панели модема. Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №1 (для получения информации нажать кнопку *Refresh*).

16) Исследование свойств *ADSL* соединения для различных протоколов. Отключить дополнительные фильтры и восстановить штатное подключение к телефонной линии для модема №1. Телефонный кабель, подведенный к модему №2, оставить в неподключенном состоянии. Выполнить перезагрузку модема №1.

17) Выполнить аппаратный сброс настроек модема №1. Для этого следует нажать и удерживать в нажатом состоянии кнопку *RESET* на устройстве, до тех пор, пока индикатор *POWER* не начнет мигать (примерно 10...15 с.). После этого отпустите кнопку *RESET*. Кнопка *RESET* располагается на задней панели устройства, между разъемом подключения источника питания и группой разъемов *Ethernet* коммутатора.



После выполнения аппаратного сброса: модем получит *IP* адрес 192.168.1.1; в модеме будет включен сервер *DHCP* для назначения *IP* адресов внешним устройствам; для входа в программу конфигурирования будет назначен пароль 1234.

18) Выполнить запуск программы конфигурирования модема. Для этого в строке адреса браузера *Internet* ввести *IP* адрес модема 192.168.1.1 и завершить ввод нажатием клавиши *Enter*. Для входа в программу использовать пароль — 1234. На предложение модема на изменения пароля ответить отказом, выбрав режим «*Ignore*».

19) Произвести исследование характеристик *ADSL* линии при использовании модуляции типа *ADSL2*.

— Для этого в меню *Network* программы конфигурирования модема последовательно выбрать пункт *WAN*, а затем закладку *Internet Connection*. В окне выбора режима модуляции «*Modulation*» установить необходимый вид модуляции и нажать кнопку *Apply*.

— Проконтролировать процесс установления связи в канале по завершению периодических миганий индикатора *DSL* на передней панели модема *Zyxel «P660HTW2 EE»*.

— Зафиксировать параметры соединения при выбранном виде модуляции. Для этого в основном меню программы *WEB* интерфейса нажать кнопку *Status* расположенную в левой верхней части окна.

— Определить распределения информации на тональных поднесущих частотах. Для этого перейти в окно «*DSL Line*» путем активации пунктов меню *Maintenance > Diagnostic > DSL Line*. В открывшемся окне активировать команду «*DSL Line Status*».

— Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №1. Для этого использовать ярлык для запуска программы «*Test 1*», который располагается на рабочем столе компьютера. После запуска программы следует нажать кнопку *Refresh*. Если программа не может установить соединение с модемом, следует проверить тип выбранного модема на закладке «*Settings*» в поле «*Modem type*» и ввести пароль «1234» для соединения по протоколу *telnet*. Пример результата тестирования показан на рис. 8. Сохранить результат тестирования в электронном протоколе.

20) Выполнить исследование характеристик *ADSL* линии при использовании модуляции *ADSL2+*. Для этого выполнить последовательность действий (п. 19) для модуляции *ADSL2+*.

21) Выполнить исследование характеристик *ADSL* линии при использовании модуляции *ADSL2 Annex M*. Для этого выполнить последовательность действий (п. 19) для модуляции *ADSL2 Annex M*.

22) Выполнить исследование характеристик *DSL* линии при использовании модуляции *ADSL2+ Annex M*. Для этого выполнить последовательность действий (п. 19) для модуляции *ADSL2+ Annex M*. Завершить работу программы *OrbMT*.

23) Восстановить подключение модема №2 к телефонной линии.



24) Используя тестовую программу *OrbMT*, сохранить график распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема №1 после восстановления конфигурации. После запуска программы следует нажать кнопку *Refresh*.

### Результаты исследований и их обсуждение

По результатам выполненных исследований получены копии экранов и графики зависимостей распределения информации по несущим частотам сигнала, полученные с помощью программы *OrbMT* и протоколы распределения информации на тональных поднесущих частотах в текстовом виде.

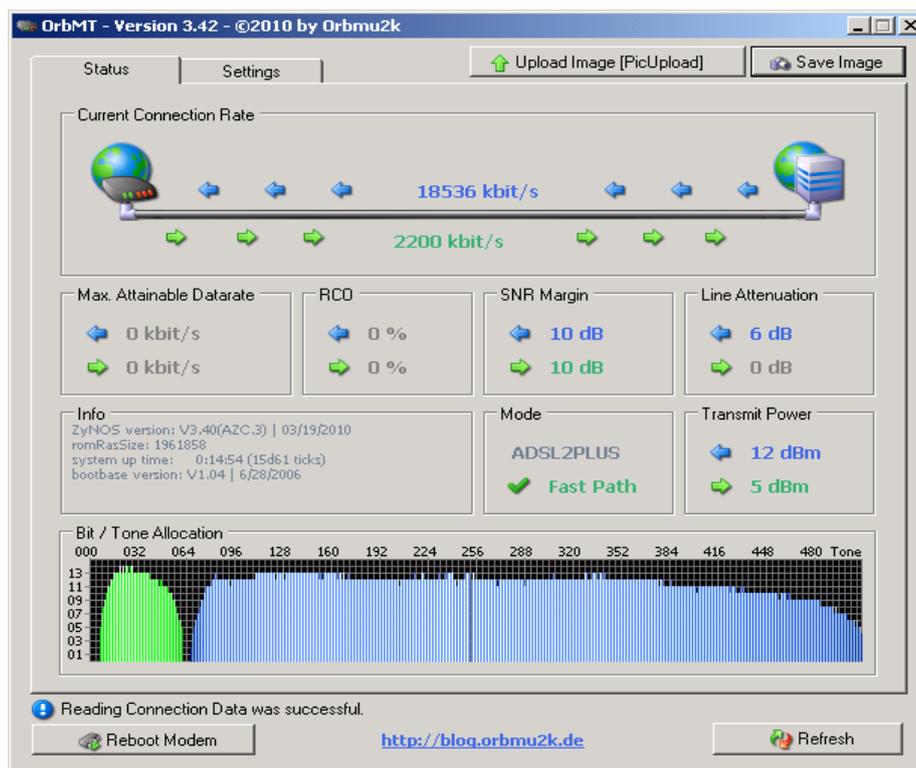
Так в качестве примера на рис. 5 приведено содержание окна просмотра параметров *ADSL* линии, а на рис. 6 — график распределения информации на тональных поднесущих частотах при использовании модуляции *ADSL2+ Annex M*.

```

noise margin upstream: 10 dB
output power downstream: 12 dB
attenuation upstream: 0 dB
tone 0- 31: 00 00 00 57 89 ab bc cd dd de de de ed ee dd dd
tone 32- 63: dd dd dd dc cc cc cb cb bb ba aa 99 87 66 50 00
tone 64- 95: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 96-127: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 128-159: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 160-191: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 192-223: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 224-255: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 256-287: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 288-319: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 320-351: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 352-383: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 384-415: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 416-447: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 448-479: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 480-511: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
noise margin downstream: 10 dB
output power upstream: 5 dB
attenuation downstream: 6 dB
tone 0- 31: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 32- 63: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
tone 64- 95: 00 23 45 77 78 89 ab bb bc cc cc cc cc cc cc
tone 96-127: cd cd cc cc cc cc cd dd dd dd dd dd dd dd dd
tone 128-159: dd dd
tone 160-191: dd dc dd cd cc dc cc cc cc cc cc cc cc cc cc
tone 192-223: cc dc cc cd dc cc
tone 224-255: cc cc cc dc cc dc dd dd cc cc cc cc dd d0 cd cd
tone 256-287: cc cc
tone 288-319: cc cc
tone 320-351: cc cc cc cd dc cc dd dc cd dc dc cc cc cc cc cc
tone 352-383: cc bc cb bb bb
tone 384-415: cb bb bb bb bb bb bb bb ba bb bb bb bb bb bb
tone 416-447: bb bb bb ba bb ba aa ba ba aa aa aa aa aa aa
tone 448-479: aa aa aa aa aa aa a9 a9 99 99 99 99 99 99 99
tone 480-511: 99 98 88 88 88 88 88 77 77 77 76 66 66 55 44 30
LAN Information:
IP Address: 192.168.1.1
IP Subnet Mask: 255.255.255.0

```

**Рис. 5 — Вид окна просмотра параметров *ADSL* линии при использовании модуляции *ADSL2+ Annex M***



**Рис. 6 — График распределения информации на тональных поднесущих частотах для модема с использованием модуляции ADSL2+ Annex M**

По результатам тестирования выполнена систематизация материалов и заполнена Табл. 2.

**Таблица 2**

**Результаты измерений**

Вид модуляции	ADSL2	ADSL2+	ADSL2 Annex M	ADSL2+ Annex M
Уровень шума <i>downstream</i> , дБм	10	10	10	10
Уровень мощности сигнала <i>downstream</i> , дБм	13	16	8	12
Ослабление сигнала в направлении <i>downstream</i> , дБ	1	6	1	6
Скорость передачи информации в направлении <i>downstream</i> , кбит/с	9578	20467	9314	18536
Диапазон номеров используемых тональных несущих частот в направлении <i>downstream</i>	64-255	64-510	66-255	66-510
Уровень шума <i>upstream</i> , дБм	11	11	10	10
Уровень мощности сигнала <i>upstream</i> , дБм	3	3	5	5
Ослабление сигнала в направлении <i>upstream</i> , дБ	2	2	0	0
Скорость передачи информации в направлении <i>upstream</i> , кбит/с	726	803	2009	2020
Диапазон номеров используемых тональных несущих частот в направлении <i>upstream</i>	7-31	7-31	6-60	6-60
Экспериментальное значение граничной частоты $f_1$ (см. п.п. 2.5.), кГц	1082,4	1181,6	1082,4	1082,4
Номер тона пилот-сигнала	251	274	251	251
Частота пилот-сигнала, кГц	133,6	133,6	258,7	258,7



**Примечание.** Определение граничной частоты  $f_1$  и частоты пилот сигнала производилось по текстовым протоколам распределения информации на тональных поднесущих частотах.

### **Заключение**

Исходя из полученных данных в результате исследования характеристик цифровой абонентской линии при использовании различных вариантов технологии *ADSL*, установлено, что оптимальным вариантом является вариант *ADSL2+ Annex M*, поскольку в этом случае обеспечивается значительно большая скорость передачи в канале к абоненту «вниз» и наибольшая скорость передачи в канале от абонента «вверх». В целом разработанная методика позволяет проводить исследование для любых вариантов цифровой абонентской линии с определением информационных и частотных свойств интерфейса цифровой абонентской линии.

### **Литература:**

1. Бакланов, И.Г. Технологии *ADSL/ADSL2+*. Теория и практика применения / И.Г. Бакланов. — М.: Эко-трендз, 2007. — 384 с.
2. Дьяконов, В.П. Электронные средства связи / В.П. Дьяконов, А.А. Образцов, В.Ю. Смердов. — М.: Солон-пресс, 2005. — 432 с.
3. Балашов, В.А. Технологии широкополосного доступа *xDSL*. Инженерно-технический справочник / В.А. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий. — М.: Эко-Трендз, 2009. — 256 с.
4. G.992.5. Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks. Digital sections and digital line system — Access networks. Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) - Extended bandwidth (ADSL2plus) / ITU-T. — Режим доступа: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.5-200901-I> (дата обращения: 08.09.2019).
5. Настройка ZyXEL P660HTW2 EE - Bridge, PPPoE, IPoE (Enetencap), IPTV, Wi-Fi / Admin@Guru. — Режим доступа: <http://admin-gu.ru/zyxel/nastrojka-zyxel-p660htw2-ee-bridge-pppoe-ipoe-enetencap-iptv-wi-fi> (дата обращения: 08.09.2019).

### **References:**

1. Baklanov, I.G. ADSL / ADSL2 + technologies. Theory and practice of application / I.G. Baklanov. — М.: Eko-Trendz, 2007. — 384 p. (In Russian)
2. Dyakonov, V.P. Electronic communications / V.P. Dyakonov, A.A. Obrazcov, V.Yu. Smerdov. — М.: Solon-press, 2005. — 432 p. (In Russian)
3. Balashov, V.A. xDSL Broadband Technologies. Engineering Technical Reference / V.A. Balashov, A.G. Lashko, L.M. Lyahoveckii. — М.: Eko-Trendz, 2009. — 256 p. (In Russian)
4. G.992.5. Transmission Systems And Media, Digital Systems And Networks. Digital sections and digital line system — Access networks. Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) — Extended bandwidth (ADSL2plus) / ITU-T. — URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.5-200901-I> (the date of the appeal: 08.09.2019).
5. Tuning ZyXEL P660HTW2 EE - Bridge, PPPoE, IPoE (Enetencap), IPTV, Wi-Fi / Admin@Guru. — URL: <http://admin-gu.ru/zyxel/nastrojka-zyxel-p660htw2-ee-bridge-pppoe-ipoe-enetencap-iptv-wi-fi> (the date of the appeal: 08.09.2019). (In Russian)



**Abstract.** *The paper substantiates the structure of the laboratory stand for studying the Digital Subscriber Line (DSL) interface and develops a research methodology. It is shown that by applying this approach, it is possible to study the DSL interface both in terms of information capabilities and in terms of physical processes in the communication line.*

**Key words:** *digital subscriber line, data rate, ADSL, discrete multi tone*

Статья отправлена: 30.09.2019

© Савочкин А.А.