

**Игорь Дианов**  
НПП «Аналитик ТелекомСистемы»  
(095) 490-07-13, 490-07-99  
igor@analytic.ru

Copyright © 1996

## **Модемы для ведомственных сетей технологической связи.**

### **I. Сети технологической электросвязи**

Параллельно развитию общегосударственной телефонной сети широкое распространение в России получили сети технологической электросвязи, принадлежащие различным ведомствам. Среди них можно выделить сети министерств Топлива и Энергетики (электроэнергетика, газпром, предприятия нефтедобычи), Транспорта (железнодорожный, авиационный, речной) и Обороны. Каналы телефонного типа и физические линии предназначены для передачи речи и данных, используемых в системах телеметрии, управления и сбора информации. Несмотря на бурное развитие цифровых сетей передачи данных в ведомственной электросвязи пока преобладают аналоговые телекоммуникационные сети. Так в электроэнергетике доля волоконно-оптических линий связи составляет 9%, тогда как кабельных - 46%, а каналов, использующих линии электропередачи, - 39%.

#### **Специфика ведомственных сетей.**

Сети технологической связи обладают целым рядом особенностей, затрудняющих применение обычных средств передачи данных.

- \* Часто по одному каналу необходимо мультиплексировать оперативно-диспетчерскую связь с передачей телемеханической и телеметрической информации, передаваемой в реальном масштабе времени.
- \* Многие сети вытянуты вдоль протяженных объектов (железная дорога, газопровод, линии электропередачи и т.п.) и имеют явно выраженные центры сбора информации и управления.
- \* Топология сети, методы и время доступа к удаленным объектам часто требуют применения специализированных средств передачи данных.
- \* Жесткие требования по климатическому и конструктивному исполнению, надежности работы и энергопотреблению.

Несмотря на ведомственные особенности, пользователи заинтересованы в использовании всех преимуществ, предоставляемых “стандартными” средствами передачи данных - модемами:

- наличие Hayes-совместимого интерфейса управления от компьютера или контроллера;
- встроенные в модем протоколы коррекции ошибок и сжатия информации (например, V.42bis/MNP5);
- стандартные протоколы физического уровня.

#### **Рассмотрим методы решения поставленных задач.**

- 1) Мультиплексирование диспетчерской связи с передачей данных может осуществляться с помощью:
  - цифровых мультиплексоров данных;
  - частотного разделения канала на тональный и надтональный диапазоны (данный метод широко распространен в каналообразующей аппаратуре, используемой на предприятиях электроэнергетики):  
300...2300 Гц для речевого сигнала и передачи данных в системах коммерческого учета электроэнергии (тональный диапазон);

2600...3200 Гц для передачи сигналов телеметрии (надтоновый диапазон);

- расширения используемого частотного диапазона (при работе на абонентских линиях);
  - временного мультиплексирования с автоматическим распознаванием речь/данные.
- 2) Для различных топологий сетей применяются специализированные модемы:
- short range модемы для высокоскоростной связи по физическим линиям;
  - medium range модемы для длинных физических линий;
  - системы с регенерацией модемного сигнала при работе на протяженных линиях;
  - мультиточечные модемы.

Последующие главы статьи посвящены более подробному рассмотрению средств передачи данных, используемых в ведомственных сетях электросвязи.

## II. Цифровые мультиплексоры данных.

Задача интеграции различной информации, включая голос, факс, асинхронные и синхронные данные, для передачи по одному каналу связи нашла одно из своих решений в цифровых мультиплексорах данных. Для передачи собранных в один поток данных используются высокоскоростные модемы (например, MotorolaCodex). На этом рынке можно выделить продукцию фирмы MICOM (дистрибьютор ARGUSSOFT Co, г. Москва). Мультиплексоры этой компании серий Sprinter (1.2-64 кбит/с), Marathon и Netrunner (9.6-128 кбит/с) перекрывают требования широкого спектра пользовательских задач. На предприятиях электроэнергетики система Marathon внедряется АО "Оптима" (г. Москва). Высокоскоростные мультиплексоры "Kilomux-2000" (9.6-768 кбит/с) предлагаются также фирмой RAD (дистрибьютор АО "Информсвязь", г. Москва). Рассмотрение всего спектра предлагаемых мультиплексоров выходит за рамки данной статьи.

## III. Модемы для тонального диапазона частот.

### Введение

На Рис.1 показаны диапазоны частот, предоставляемые специализированной каналобразующей аппаратурой, и частотные полосы, используемые различными модемами.

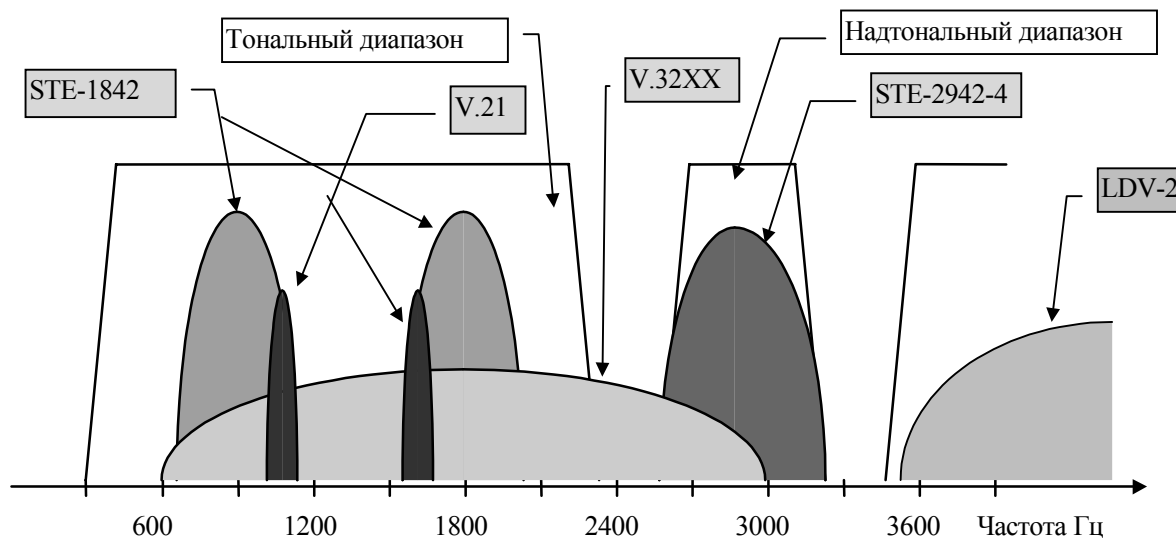


Рисунок 1. Частотные диапазоны, используемые различными модемами

Пояснения к рисунку:

- тональный и надтоновый диапазоны - разделение частотного спектра, осуществляемое каналобразующей аппаратурой (например, в системах передачи по ЛЭП;

- V.32XXX - условное обозначение современных импортных модемов, работающих по стандартизованным ИТУ-Т протоколам (например, V.32), которые используют полосу частот 600...3000 Гц и не могут работать на каналах с ограниченным спектром;
- STE-1842 и STE-2942-4 модемы для ограниченного спектра НПП "Аналитик-ТС";
- V.21 - модем соответствующий рекомендациям ИТУ-Т V.21;
- LDV-2 модем фирмы RAD для передачи данных над речью по абонентским линиям.

#### **Требования к модемам для тонального диапазона частот.**

1. Используемый спектр должен быть ограничен полосой частот 300...2300 Гц.
2. Должна обеспечиваться надежная связь при низком соотношении сигнал/шум, т.к. каналы в энергетике часто организуются по ЛЭП и кабельным линиям низкого качества. Для таких каналов характерны повышенный уровень шумов, импульсных помех и при большом количестве участков переключений высокие фазовые искажения.
3. Управление модемом со стороны компьютера (или интеллектуального контроллера) должно осуществляться at-командами (модемы должны быть Hayes-совместимыми), что обеспечивает возможность работы стандартных телекоммуникационных пакетов и значительно упрощает разработку специализированного программного обеспечения. Модем должен иметь dumb-режим для работы с неинтеллектуальными контроллерами и датчиками первичной информации.
4. Модем должен поддерживать протоколы коррекции ошибок (для обеспечения надежности передачи данных) и протоколы сжатия информации (для повышения эффективной скорости передачи).

#### **Модемные протоколы физического уровня для тонального диапазона частот.**

Основой любого модема является используемый им протокол физического уровня. Рассмотрим протоколы, которые можно использовать для ограниченной полосы частот 300...2300 Гц.

1. Модемный протокол V.21 утвержден в рекомендациях ИТУ-Т. Это дуплексный протокол с частотным разделением каналов, использующий частотную модуляцию FSK. В протоколе используются частоты 980/1180 Гц и 1650/1850 Гц. Низкая скорость передачи 300 бит/с препятствует его широкому распространению. Модемный протокол V.23 утвержден в рекомендациях ИТУ-Т. Это полудуплексный протокол с частотной модуляцией. Несущие частоты 1300/1700/2100 Гц. Протокол практически вышел из употребления и большинство современных импортных модемов его не поддерживают. В России на этом протоколе было основано семейство нестандартных (не Hayes-совместимых) модемов типа LEXAND. Протоколы V.21 и V.23 используются в контроллерах связи АО "ДЭП" (г. Москва), которые применяются в распределенных системах АСУ, например, на Северной водопроводной станции г. Москвы. Аналогичные протоколы поддерживаются модемами ТАМ-1, разработанными ТОО "Модем" (г. Санкт-Петербург).

2. V.26bis - полудуплексный протокол, использующий DPSK модуляцию (несущая 1800 Гц, модуляционная скорость 1200 Бод, используемая полоса частот 1200...2400 Гц) и поддерживающий скорости 1200/2400 бит/с. На базе этого протокола АОЗТ "Амрита" (г. Пенза) реализовало модем "АМР4", входящий в систему коммерческого учета электроэнергии.

3. PEP, TurboPEP - это полудуплексные протоколы, реализованные фирмой Telebit в модемах TrailBlazer и WorldBlazer. Соответственно при работе в полном ТЧ канале максимальная скорость передачи 19200 и 23000 бит/с. В этих протоколах весь канал разбивается на множество узкополосных частотных подканалов, по каждому из которых независимо передаются порции бит из общего потока данных. В зависимости от используемой полосы частот возможно отключение части частотных подканалов или уменьшение в них скорости передачи. В своих последних разработках (модемы FastBlazer и TeleBlazer) фирма Telebit не поддерживает данные протоколы. Модемы фирмы Telebit активно внедряются АО "Оптима" (г. Москва) на рынке комплексных систем для предприятий электроэнергетики.

4. Модификация дуплексного протокола V.22bis для работы в ограниченном диапазоне частот реализована НПП "Аналитик-ТС" в модемах серии AnCom STE-1842. Амплитудно-фазовая модуляция на несущих частотах 900 и 1800 Гц обеспечивает оптимальное расположение спектров сигналов в полосе передачи 600...2100 Гц. Для обеспечения работы на сильно

зашумленных линиях реализован расширенный диапазон скоростей передачи на физическом уровне (450, 900, 1800 Бод). На уровне интерфейса RS-232C поддерживается стандартный набор скоростей 300... 9600 бит/с.

### Характеристики модемов для тонального диапазона частот.

Среди рассмотренных выше протоколов физического уровня PEP (TurboPEP) и модифицированный протокол V.22bis наиболее полно удовлетворяют предъявляемым требованиям. В феврале 1996 г. были проведены стендовые испытания модемов TELEBIT WorldBlazer (TurboPEP) и AnCom STE-1842 (модифицированный протокол V.22bis). Работа модемов исследовалась на тональном канале ограниченного спектра 300...2200 Гц. Изучались помехозащищенность, режимы управления, поддержка протоколов коррекции и сжатия, сервисные функции.

#### 1. Помехозащищенность.

На Рис. 2 представлены сравнительные скоростные характеристики модемов полученные при разных соотношениях сигнал/шум. Исследования устойчивости работы модемов к всплескам шумов, скачкам уровня, перерывам связи и надежности связи при работе на длинных соединительных линиях дали качественно аналогичные результаты. Общие выводы исследования помехозащищенности модемов:

- TELEBIT WorldBlazer предпочтительно применять на относительно "чистых" линиях, где он обеспечивает заметный выигрыш в скорости передачи;
- AnCom STE-1842 предпочтительно применять на зашумленных линиях низкого качества для организации надежного обмена информацией (испытания на объектах электроэнергетики подтвердили устойчивую работу при ухудшении соотношениях сигнал/шум до 5 дБ).

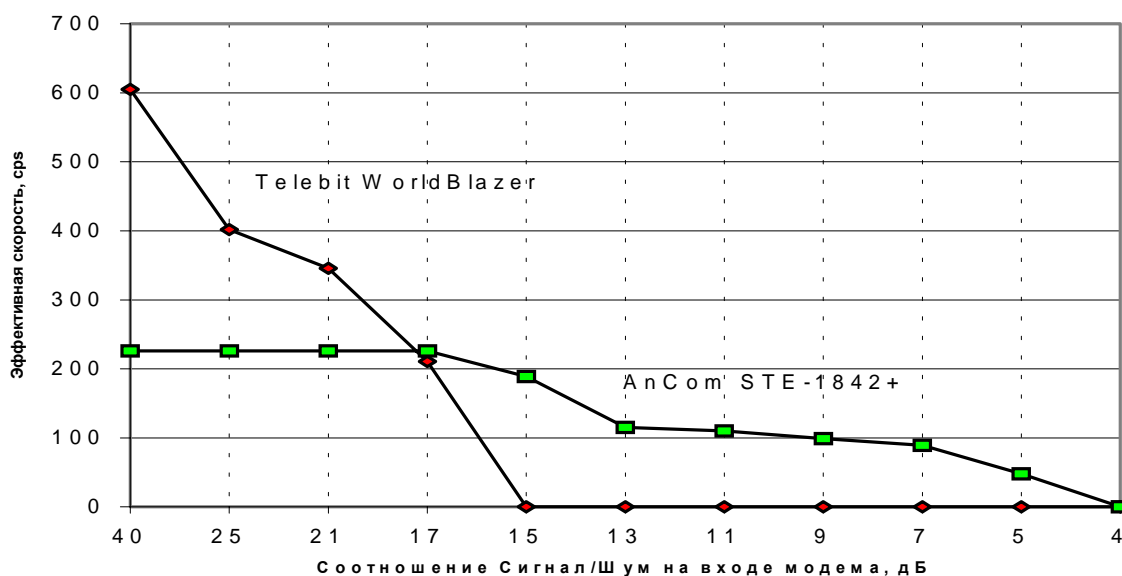


Рисунок 2. Скоростные характеристики модемов в зависимости от соотношения сигнал/шум

#### 2. Управление модемом со стороны компьютера (контроллера).

Модемы TELEBIT WorldBlazer и AnCom STE-1842 поддерживают управление at-командами и совместимы со стандартными телекоммуникационными пакетами.

#### 3. Протоколы коррекции ошибок и сжатия данных.

Модемы TELEBIT WorldBlazer и AnCom STE-1842 в полном объеме поддерживают протоколы коррекции ошибок V.42, MNP2-4 и протоколы сжатия данных V.42bis, MNP5.

#### 4. Сервисные функции.

Модемы TELEBIT WorldBlazer и AnCom STE-1842 обладают дополнительными сервисными возможностями для оперативного контроля канала связи, что значительно облегчает ввод в эксплуатацию телекоммуникационных сетей.

TELEBIT WorldBlazer при установлении соединения индицирует мгновенную скорость передачи (bit rate). При работе можно вывести на терминал таблицу, показывающую число передаваемых битов по каждому из подканалов. По этой информации можно косвенно оценить амплитудные искажения, а также распределение шумов в спектре сигнала.

Программа ST24view, работающая совместно с модемом AnCom STE-1842, выводит в графической форме на дисплей и средствами компьютера протоколирует информацию о состоянии канала связи. Измеряются следующие параметры: мощность входного и выходного сигналов, соотношение сигнал/шум, сдвиг несущей частоты, дрожание фазы и амплитуды, амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ГВП) характеристики канала в полосе приема.

#### *5. Внедрение модема AnCom STE-1842.*

На предприятиях электроэнергетики модемы AnCom STE-1842 внедряются фирмами:

- ИТФ "Системы и технологии" (г. Владимир) использует модем в системах АСКУЭ в составе контроллера учета электроэнергии "Сикон-С1". Система устанавливается в АО "Владимирэнерго", АО "Рязаньэнерго", прошла успешные испытания на АЗЛК, Загорской гидроаккумулирующей станции и других объектах.
- АО "Электроцентраладка" (г. Москва) провело большую работу по испытанию и внедрению модемов на каналах АО "Тверьэнерго", АО "Ставропольэнерго", АО "Кировэнерго"... (всего более 15 предприятий). Модемы устанавливаются в системы заказчика и поставляются в составе многоуровневой иерархической системы учета и контроля электроэнергии.
- АОЗТ "Амрита" (г. Пенза) провела успешные испытания модемов на каналах ограниченного спектра и планирует их в своих разработках.
- СП "АББ ВЭИ Метроника" (г. Москва) провела испытания работы модемов со счетчиками электрической энергии "Альфа" (лицензия международного концерна АБВ) и планирует их совместное использование.

### **IV. Модемы для надтонального диапазона частот.**

Надтональный спектр ограничен полосой частот 2600...3200 Гц (См. Рис. 1). В зависимости от функциональных требований применяются два типа модемов:

1. Для низкоскоростных применений желательна совместимость модемов с широко распространенными изделиями ТГФМ (Польша) и АПСТ-М (Украина), использующими частотную модуляцию (ITU-T R35, R37, R38A). Они поддерживают скорости передачи 50 Бод - до 6 каналов, 100 Бод - до 3-х каналов, 200 Бод - до 2-х каналов. Модем для телемеханических каналов "Конус", разработанный АОЗТ "Конус-М" (г. Москва), и "Мультимодем-100-1200", созданный ТОО "Модем" (г. Санкт-Петербург), удовлетворяют предъявленным требованиям.

2. Для более высокоскоростных применений (600 бит/с и более) целесообразно использовать модемы фирмы Telebit (TrailBlazer, WorldBlazer) или НПП "Аналитик-ТС" (AnCom STE-2942-4). Модемы, использующие протокол РЕР, уже рассматривались выше. Модем AnCom STE-2942-4 - это четырехпроводный Hayes-совместимый модем, использующий модифицированный V.22bis протокол. На физическом уровне он поддерживает скорости 725, 1450, 2900 Бод (на уровне интерфейса RS-232C - 600...9600 бит/с) и может быть программно сконфигурирован для работы как в тональной 1100...1800 Гц, так и в надтональной полосе частот 2600...3200 Гц. С помощью аппаратных переключателей можно перевести модем в двухпроводный режим, использующий всю ширину канала ТЧ 300...3200 Гц. На нескольких предприятиях электроэнергетики (например, в АО "Кировэнерго") были проведены успешные испытания этих модемов на каналах надтонального диапазона.

### **V. Автоматические устройства временного мультиплексирования диспетчерской связи и передачи данных.**

Проблема мультиплексирования оперативно-диспетчерской связи и передачи данных по одной телефонной линии (в том числе ограниченного спектра!) может быть решена с помощью устройства управления диспетчерским телефоном AnCom CP1, разработанного НПП "Аналитик-ТС". При совместной работе с модемом оно позволяет:

- распознавать тип вызова (модем/голос);
- автоматически переключать все голосовые вызовы на диспетчерский телефон;
- автоматически устанавливать модемное соединение, если источником вызова является модем;
- обеспечивать возможность прерывания сеанса передачи данных с помощью телефонного аппарата по инициативе диспетчера (приоритет диспетчерского телефона).

Такие устройства установлены в системе управления бензозаправочными станциями фирмы “МПКА” (г. Москва), используются в системах коммерческого учета электроэнергии, например, АО “Владимирэнерго”. Похожие функции управления диспетчерским телефоном встроены в модем, разработанный АОЗТ “Амрита” (г. Пенза).

## **VI. Модемы для передачи данных над речью по абонентским линиям.**

При использовании неуплотненных двухпроводных абонентских линий для передачи данных может использоваться спектр частот, расположенный над стандартным тональным диапазоном (более 3500 Гц). Чаще всего используется частотная модуляция. Например, аппаратура “ТелеГлобал” (г. Ярославль) позволяет передавать данные на расстояние до 7.5 км со скоростью 9600 бит/с или на расстояние до 5 км со скоростью 64 кбит/с. Модем LDV-2 фирмы RAD позволяет передавать данные со скоростью 9600 бит/с на расстояние до 9 км. Модемы этого класса нашли свое применение в охранных системах и телеметрических комплексах городского теплоснабжения.

## **VII. Модемы для физических линий (Short range).**

Для организации связи между компьютерами, создания “мостов” между локальными сетями, подключения удаленных терминалов и других случаях использования физических линий применяются short range модемы. Особенности применения:

- высокие скорости (до 2048 кбит/с на расстояние до 1.75 км);
- значительные расстояния (до 28 км на скорости 1.2 кбит/с);
- необходимость поддержки синхронного и асинхронного, дуплексного и полудуплексного режимов;
- работа по двух и четырехпроводным физическим линиям (коаксиальный кабель, витая пара);
- “прозрачный” режим работы без встроженных протоколов коррекции ошибок;
- питание от переменного и постоянного тока или работа без источника питания (запитка от информационных цепей интерфейса RS-232C).

Повышение скорости по сравнению с “телефонными” модемами достигается за счет использования более широкой полосы частот. В зависимости от метода модуляции верхняя граница используемого спектра составляет от 1/3 (ЗВЛ) до 2/3 (В-импульс) от частоты передачи данных. Для дуплексной передачи по двухпроводным линиям используется технология эхоподавления (2B1Q). Экстенсивный путь повышения дальности работы увеличением мощности выходного сигнала ограничен взаимными наводками и составляет до 3 В на скорости более 64 кбит/с и до 1 В для меньших скоростей. Широкий спектр short range модемов предлагается фирмой RAD (дистрибьютор АО “Информсвязь” г. Москва). Среди отечественных разработок удачным соотношением параметры/стоимость выделяются модемы фирмы “Зелак Плюс” г. Зеленоград (например, M115).

## **VIII. Модемы для длинных физических линий (Medium range).**

При связи с удаленными объектами по физическим линиям основные проблемы передачи данных связаны с большим затуханием сигнала. На Рис.3 приведена зависимость затухания от частоты для линий длиной 10, 20, 40 км (кабель ТГ-0.5). Увеличение диаметра используемого провода значительно уменьшает затухание сигнала (см. Рис.3 графики для 50 км ТГ-0.8 и 60 км ТГ-1.2). Для длинных физических линий применение как телефонных, так и short range модемов затруднено и используются Medium range модемы (Таблица 1). Для них характерно использование нижней части частотного спектра, увеличение выходной мощности и подъем чувствительности к входному сигналу. В таблице и на рисунке под индексом V.33 приводятся

характеристики абстрактного модема выполненного в соответствии с рекомендациями ITU-T V.33.

Таблица 1. Сравнительные характеристики различных типов модемов.

Модем (фирма)	Тип модема	Выходная мощность дБм	Чувствительность дБм	Частотный диапазон	Модуляция	Скорость кбит/с (ТГ-0.5)	Расстояние км (ТГ-0.5)
ASM-10 (RAD)	short	-9 ...0	-30	до $2/3 f$	D1	19.2 /1.2	10/28
V.33	phone	-13	-43	0.3...3.0 кГц	TSM	14/12	15
MTM-20 (RAD)	medium	-12...0	-43	до 10 кГц	QAM	64/32	13/18
STE-1842-4E (Аналитик-ТС)	medium	-12...+9	-59	0.6...1.2 кГц	QAM	1.8/0.45	40

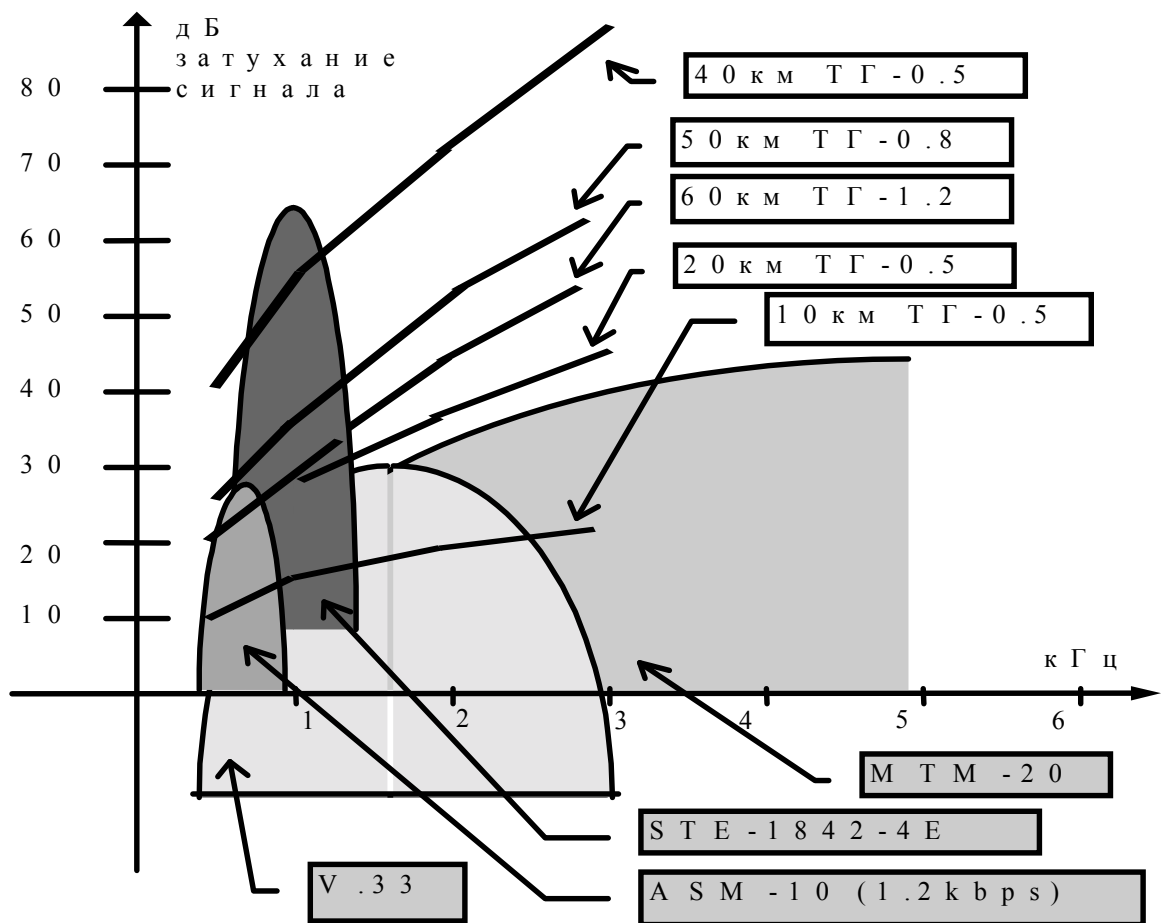


Рисунок 3. Сопоставление характеристик кабелей (зависимости затухания от частоты, типа кабеля и его длины) и параметров модемов (используемая полоса частот и максимально допустимое затухание сигнала).

Модемы AnCom STE-1842-4E оптимизированы для работы на линиях с высоким затуханием сигнала, включая любимый всеми военными вариант передачи данных “по колючей проволоке” (линии с ненормированными характеристиками). Модемы были разработаны по заказу АОЗТ “Акваавтоматика” (г. Зеленоград) и используются в информационной системе Мосводоканала.

### IX. Использование модемов в режиме регенератора.

При организации систем передачи данных вдоль протяженных объектов может применяться метод цифровой регенерации модемного сигнала. Трасса разбивается на участки, на границах которых устанавливаются пары модемов. Каждый из модемов поддерживает соединение на своем участке, а обмен цифровой информацией между ними осуществляется или непосредственно по RS-232C, или через буферный контроллер. Преимуществом такой схемы является очистка сигнала от шумов на каждом узле регенерации (при преобразовании аналогового сигнала в цифровой), а недостатком - увеличение времени распространения (около 25 мс на узел) и “размножение” ошибок на модемном дескремблере. Примером реализации является сдвоенный модем AnCom DL-2400, разработанный по заказу АО “Диалог-Транс” (г. Москва) для системы управления движением по железной дороге. В каждом узле, “удачно” совпадающем с объектом управления (пульт управления станционными стрелками, светофорами и т.п.), устанавливается контроллер на базе микро-ЭВМ “БМ-1602” и модем, как это показано на Рис.4. Сообщения и запросы, посланные с центрального компьютера, доходят до нужного контроллера через промежуточные, регенерирующие модемы.



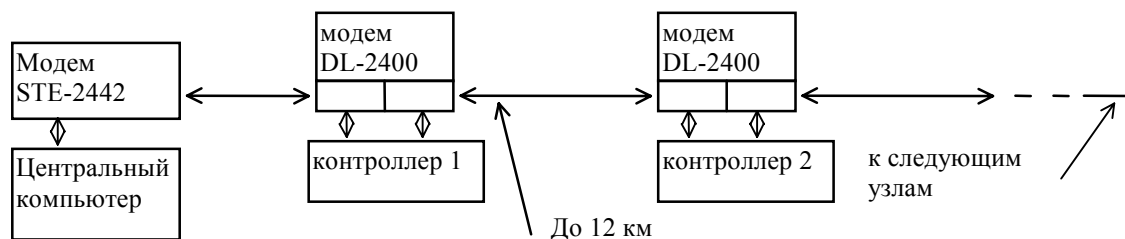


Рисунок 4. Распределенная система управления с регенерацией модемного сигнала.

## Х. Мультиточечные модемы.

Одним из распространенных вариантов топологии технологических сетей передачи данных является сеть, поддерживающая многоточечное соединение на двух или четырехпроводных физических линиях и каналах тональной частоты. Возможны несколько вариантов построения многоточечных сетей на модемах:

1. Центральный узел формирует кадр, адресованный всем удаленным абонентам, каждый из которых имеет в нем свои, жестко закрепленные поля. Засинхронизировавшись за управляющий кадр, периферийные узлы передают ответные сообщения в выделенные для них кванты времени. На этом принципе построены системы “Луч” и “Нева”, распространенные на железнодорожном транспорте.
2. Центральный узел формирует кадр, содержащий “адрес” одного из абонентов. Выбранный таким образом модем устанавливает соединение с центром и обменивается с ним информацией. Последовательность адресов, объем и направление передаваемой информации, частота обращения к каждому из абонентов - все эти параметры легко программируются на центральном узле.
3. Один из периферийных узлов запрашивает доступ к общему каналу и, получив разрешение, устанавливает соединение с центральным узлом. Ситуации одновременного запроса от нескольких абонентов парируются на уровне процедуры разрешения конфликтов.

Вариант использования жесткой временной диаграммы (1) сегодня наиболее распространен, но имеет множество недостатков. Над проблемами современной реализации сетей с адресным обращением (2) и разрешением конфликтов (3) ведутся работы в нескольких организациях (в том числе и НПП “Аналитик-ТС”). Технические трудности во многом связаны с жесткими требованиями к времени установления модемного соединения:

- Для устаревших модемов ТАМ-1200 (частотная модуляция V.23) оно составляет менее 70 мс.
- Для современных модемов общего назначения с фазовой модуляцией (V.22) время соединения менее 100 мс, для модемов с модуляцией QAM (V.22bis) менее 0.8 сек, а для модемов с модуляцией TCM (V.32; V.34) может достигать нескольких секунд.
- Специализированные модемы, например, ER 4831 (Alcatel), использующие фазовую модуляцию (V.27bis), имеют сокращенную процедуру установления соединения (менее 50 мс). Эти модемы имеют относительно высокую стоимость и мало распространены.

- На коротких физических линиях могут использоваться short range модемы, например: SRM-6L (RAD).

### **Заключение.**

В последние годы появилось много статей и книг, посвященных модемной технике, но проблемы и нужды ведомственных технологических сетей передачи данных в них, как правило, не затрагиваются. Автор предлагает данную статью как приглашение к обсуждению поднятых вопросов всеми заинтересованными фирмами, разрабатывающими, производящими и внедряющими подобную технику.