

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Е.И. Ряполова, Ю.И.Синицын

СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет» в качестве
методических указаний для студентов, обучающихся по
программам высшего профессионального образования по
направлениям подготовки 090104 Комплексная защита
объектов информатизации

Оренбург
2013

УДК 004.77
ББК 32.973.202 я 7
Р 91

Рецензент – кандидат педагогических наук, доцент Л.Ф. Насейкина

Ряполова, Е.И.

Р 91 Системы и сети связи: методические указания к лабораторным работам /
Е.И. Ряполова, Ю.И. Сеницын; – Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург:
ОГУ, 2013. – 109 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ студентами, изучающими дисциплины «Системы и сети связи». Приводятся варианты заданий для лабораторных работ и порядок их выполнения

Методические указания предназначены для студентов направлений подготовки 090104 «Комплексная защита объектов информатизации»

УДК 004.77
ББК 32.973.202 я 73

© Ряполова Е.И., 2013
Сеницын Ю.И., 2013
© ОГУ, 2013

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Исследование информационного канала.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование транспортного соединения в сети связи.....	15
3 Лабораторная работа № 3. Первичные цифровые системы передачи.....	20 35
4 Лабораторная работа № 4. Цифровая система коммутации «М-200».....	
5 Лабораторная работа № 5. Технология монтажа волоконно-оптической линии передачи для системы связи.....	45
6 Лабораторная работа № 6. Построение сети связи с использованием технологии FDDI.....	58
7 Лабораторная работа № 7. Построение корпоративной сети связи с использованием средств доступа к региональным сетям.....	63 70
8 Лабораторная работа № 8. Построение канала связи с использованием ВОЛС...	77
9 Лабораторная работа № 9. Вибраторные антенны.....	82
10 Лабораторная работа № 10. Рупорные антенны.....	86
11 Лабораторная работа № 11. Зеркальные антенны.....	
12 Лабораторная работа № 12. Согласование антенно-фидерного устройства с приемопередатчиком.....	92
13 Лабораторная работа № 13. Определение геометрической видимости интервала трассы для системы связи УКВ диапазона.....	100
Список использованных источников.....	106
Приложение А. Фрагмент моделирующей программы.....	108

1 Лабораторная работа № 1. Исследование информационного канала

Цель работы. Исследование процедур протоколов управления информационным каналом и выбор оптимальных системных параметров протокола для заданных условий обмена.

Теоретическая справка.

Протоколы управления информационным каналом являются элементом системы телеобработки данных с точки зрения обеспечения требуемых характеристик передачи данных — времени доставки, скорости обмена и верности передачи. В рамках семиуровневой модели взаимосвязи открытых систем данные протоколы обеспечивают сервис уровня информационного канала (уровень 2), на котором базируются все вышележащие протокольные уровни (сетевой, транспортный и т.д.).

Основной задачей протокола 2-го уровня является надежная и своевременная доставка пользовательских данных по двухточечному соединению. Единицей пользовательских данных в протоколе выступает структура с ограничением по максимуму длины, которая называется в разных протоколах пакетом, сегментом, фрагментом и т.д. Будем использовать название *пакет*.

В зависимости от способов обеспечения кодовой прозрачности передаваемого пакета протоколы 2-го уровня делятся на бит - и байт - ориентированные. В современных сетях наибольшее распространение получили *бит-ориентированные протоколы* (SDLC, HDLC, X.25/2). Структура информационного объекта данного протокола - кадра показана на рисунке 1 [1].

Заголовок	Информация (пакет)	Концевик
-----------	--------------------	----------

Рисунок 1 - Структура информационного кадра

Кадр включает следующие поля:

— заголовок — содержит признак начала кадра (флаговая комбинация F), поле

адреса и поле управления;

- информационная часть (пакет) — передаваемые данные длиной до I_{\max} бит;
- концевик - содержит контрольную последовательность кадра (FCS), используемую для обнаружения ошибок, и признак конца кадра (флаговая комбинация F).

Для целей управления передачей информации в протоколах класса HDLC используются еще два типа служебных кадров — управляющие (супервизорные) и нумерованные. Конкретный набор данных кадров и процедуры их применения зависят от выбранной версии протокола.

Формат служебных кадров включает заголовок, концевик и, в редких случаях, небольшое информационное поле для передачи дополнительных сведений, например, об обнаруженной ошибке передачи.

Функционирование информационного канала разбивается на *ряд последовательных фаз* - установления соединения, передачи данных, разъединения соединения. При обнаружении неисправимых ошибок на фазе передачи данных возможен переход в фазу повторного установления соединения (рестарта).

Протоколы информационного канала используют *различные методы (процедуры) для борьбы с ошибками*, вызванными ненадежностью среды передачи.

1. Основным элементом для борьбы с ошибками на уровне структуры кадра выступает *контрольная последовательность кадра FCS*, представляющая собой остаток от деления внутренней области кадра на образующий полином циклического кода. Наибольшее распространение получил в современных сетях образующий полином 16-й степени. Циклический код используется *в режиме обнаружения ошибок*. Если на приемной стороне процедура декодирования обнаруживает несовпадение синдрома ошибки, то производится стирание принятого кадра.

2. В информационном канале производится *последовательная нумерация передаваемых информационных кадров*. Каждому кадру, содержащему пакет данных, присваивается последовательный номер передачи $N(S)$. Для сокращения размера поля номера $N(S)$ в заголовке кадра применяется нумерация по

модулю 8 (иногда 128). Это позволяет сократить размер поля номера до 3-х (в случае модуля 128 — до семи) бит.

Процедура последовательной нумерации позволяет станции-приемнику следить за отсутствием пропуска кадров, использовать различные процедуры решающей обратной связи (РОС).

В случае обнаружения ошибок на уровне последовательной нумерации информационных кадров станция-приемник может сообщить об этой ситуации с помощью *специальных управляющих кадров (REJ, SREJ)*.

Подтверждение доставки данных обеспечивается процедурой РОС «с положительным квитированием». Станция-приемник сообщает отправителю о поступлении без обнаруженных ошибок информационного кадра с номером N(S). Для этой цели используется управляющий кадр (типа RR) либо специальное поле в передаваемом во встречном направлении информационном кадре.

Для борьбы с «зависанием» информационного канала, когда станция-отправитель в течение длительного времени не получает ни положительных, ни отрицательных квитанций из-за ошибок в обратном канале, используемом для РОС, применяется *восстановление по таймеру*.

Станция-отправитель при посылке информационного кадра в прямой канал запускает таймер T_a ожидания подтверждения. Если за интервал T_a не поступит сигнала РОС по обратному каналу, то срабатывание таймера инициирует процедуру восстановления (повторная передача кадра в прямом канале с запуском таймера).

Повышение эффективности использования информационного канала обеспечивается *процедурой передачи некоторого фиксированного количества информационных кадров без ожидания квитанций на их доставку*. Для этой цели станция-отправитель использует системный параметр «окно передачи» W , задающий разрешение на отправку без получения подтверждения W кадров информации. Величина параметра W должна быть меньше модуля циклической нумерации передаваемых информационных кадров [1].

Протоколы уровня информационного канала могут использовать при обмене *три основных метода РОС*.

1. При передаче с ожиданием подтверждения на каждый посланный информационный кадр ($W = 1$) — станция-получатель отправляет положительную квитанцию по обратному каналу в случае приема кадра без обнаруженных ошибок и с ожидаемым порядковым номером $N(S)$. Прием кадра с номером $N(S)$ не соответствующим ожидаемому приводит к посылке по обратному каналу отрицательной квитанции с указанием номера ожидаемого кадра.

2. При режиме непрерывной передачи с окном передачи $W > 1$ — станция-получатель формирует и отправляет по обратному каналу положительные квитанции (кадры типа RR) с указанием номера последнего принятого без ошибок и в порядке следования номеров кадра. Прием кадра RR на станции-отправителе инициирует стирание подтвержденных информационных кадров и смещение в сторону увеличения порядковых номеров окна передачи W .

3. Появление ошибки в последовательности принимаемых на станции-получателе информационных кадров вызывает посылку по обратному каналу кадра REJ с номером последнего принятого без ошибок и в порядке следования номеров кадра. Такой кадр REJ инициирует процедуру «группового переспроса», т.к. при его получении станция-отправитель стирает подтвержденные информационные кадры и немедленно начинает повторную выдачу в канал связи всех остальных информационных кадров в пределах окна передачи.

4. Разновидностью режима непрерывной передачи, позволяющей в ряде случаев несколько повысить эффективность использования канала, является процедура «избирательного переспроса». В этом случае станция-получатель при ошибке в последовательном номере принятого кадра отправляет по обратному каналу управляющий кадр SREJ, содержащий номер ожидаемого последовательного кадра.

Получаемые на станции кадры не стираются, а хранятся в буфере в ожидании получения недостающего кадра. После его приема вся последовательность передается пользователю (протоколам более высоких уровней) [1].

Функционирование протокола информационного канала осуществляется с использованием среды передачи (телефонный, радио или спутниковый канал,

коаксиальный кабель, витая пара, волоконно-оптический канал и т.д.) характеризующейся:

- задержкой распространения сигнала T_3 , зависящей от длины канала L_K и скорости передачи сигналов в канале V_M ;

- ошибками передачи информации, которые зависят как от средней вероятности ошибок в канале на бит передаваемой информации $P_{Ош}$, так и от характера (модели) распределения ошибок во времени.

Выбор версии протокола информационного канала включает в себя.

Формирование базовой структуры протокола, включающей некоторое подмножество рассмотренных выше процедур для борьбы с ошибками с соответствующим набором управляющих кадров.

Выбор системных параметров протокольных процедур, существенно влияющих на эффективность использования канала. К ним относятся:

- максимальная длина информационной части кадра, т.е. длина пакета данных I_{max} ;

- ширина окна передачи W ;

- длительность тайм-аута ожидания подтверждения T_a .

Для выбора оптимальной (для конкретной системы и среды передачи) версии используются различные критерии. Это может быть в зависимости от назначения системы, например:

- минимальное время доставки сообщения абоненту-приемнику $T_{ДОСТ} \rightarrow \min$;

- максимальная вероятность доставки сообщения (пакета) за время не превышающее максимально заданное $P(T_{ДОСТ}, T_{max}) \rightarrow \max$;

- максимум эффективности использования канала связи $E \rightarrow \max$.

В качестве критерия может использоваться показатель E , т.к. это позволяет при проектировании информационно-вычислительной сети обеспечить наилучшее использование пропускных способностей имеющихся каналов связи.

Описание работы.

В лабораторной работе используется имитационная модель информационного канала между двумя станциями (узлами) информационной сети (рисунок 2) [2].

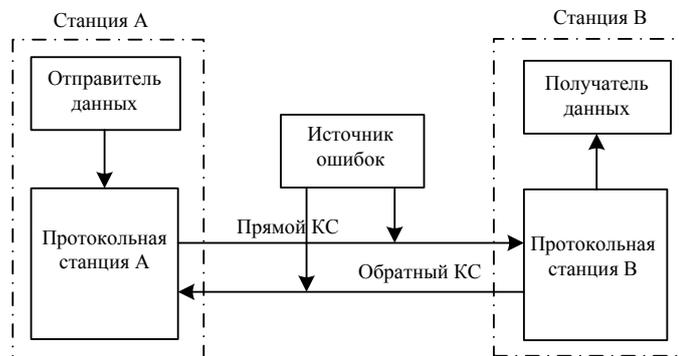


Рисунок 2 - Структура модели информационного канала

В блоке отправителя данных моделируется простейший протокол верхнего уровня, включающий:

- формирование непрерывной последовательности передаваемых сообщений заданной длины;
- сегментирование сообщения на пакеты длиной I_{\max} , причем длина последнего пакета может быть меньше I_{\max} ;
- фиксацию моментов времени выдачи службе информационного канала каждого сообщения и пакета.

В блоке получателя данных соответствующий протокол для сообщений производит сборку сообщения из пакетов и фиксирует время доставки как каждого пакета, так и сообщения в целом [1].

На этом же уровне модели рассчитывается относительная эффективная скорость передачи данных между узлами на заданном временном интервале (цикле) E_i :

$$E_i = N_d / V_M \cdot T_{Ц}, \quad (1)$$

где N_d - объем пакетов данных (в битах), доставляемых от А к В за время цикла;

V_M - скорость передачи (модуляции) в канале бит/с;

$T_{ц}$ - заданный временной интервал (цикл) для оценки величины E_i .

Протокольная станция узла А моделирует основные процедуры по формированию информационных кадров, их выдаче в прямой КС, ожиданию подтверждений, анализу управляющих кадров, поступающих из обратного канала, выдаче сигналов отправителю данных о возможности начала передачи следующего сообщения.

Протокольная станция узла В моделирует процедуры анализа поступающих информационных кадров, передачи их получателю данных, выдачи управляющих кадров в обратный КС.

Блоки моделей прямого и обратного каналов связи и источника ошибок моделируют задержку распространения сигналов и процесс поражения случайными ошибками кадров в прямом и обратном каналах [1].

Используемая модель позволяет изменять следующие параметры информационного канала, среды передачи и пользователя:

- N_C — длина передаваемых сообщений (бит);
- l_{max} — максимальная длина пакета данных (бит);
- T_3 — задержка распространения сигнала между станциями А и В;
- $P_{ош}$ — вероятность ошибки в канале связи (на бит информации);
- T_a — тайм-аут ожидания подтверждения;
- W — окно передачи.

Выходными параметрами модели являются:

– математическое ожидание $T_{П CP}$, дисперсия $D_{П}$ и гистограмма распределения времени доставки пакетов данных $T_{П i}$;

– математическое ожидание $T_{C CP}$, дисперсия D_C и гистограмма распределения времени доставки сообщений $T_{C i}$ между узлами А и В;

– значение относительной эффективной скорости передачи данных E , ее дисперсия D_E , и гистограмма значений E_i по циклам измерения;

– число доставленных по информационному каналу сообщений;

– число доставленных по информационному каналу пакетов.

Порядок выполнения лабораторной работы.

В таблице исходных данных к данной лабораторной работе приведены основные параметры исследуемой системы передачи данных:

- V_M — скорость передачи по каналу связи;
- L_K — длина канала связи;
- N_c — длина передаваемых сообщений;
- $P_{ош}$ — вероятность ошибки в канале связи.

Исходные данные для проведения имитационных экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные для проведения имитационных экспериментов

№ варианта	V_M , бит/с	L_K , км	N_c , бит	$P_{ош}$	$T_{мод}$, мин
1	2400	2000	1000	1E-4	2,5
2	4800	5000	2500	1E-3	2,0
3	1200	4000	900	5E-3	3,0
4	2400	7000	650	5E-4	2,0
5	9600	9000	1200	3E-3	2,5
6	1200	4000	2000	2E-4	2,0
7	2400	2000	900	1E-4	3,0
8	4800	5000	650	1E-3	2,0
9	1200	4000	1200	5E-3	2,5
10	2400	7000	2000	5E-4	2,0
11	2400	2000	1200	1E-4	2,5
12	4800	5000	2000	1E-3	2,0
13	1200	4000	1000	5E-3	3,0
14	2400	7000	2500	5E-4	2,0
15	9600	9000	900	1E-4	2,5
16	1200	4000	650	1E-3	2,0

Расчет параметров модели.

Необходимо предварительно выполнить следующие расчеты.

1. В связи с тем, что в модели используется условная единица модельного времени, необходимо провести калибровку модели рассчитав соответствие между

модельным и реальным временем.

Например, исследуется система передачи с $V_M = 2400$ бит/с. Интервал выдачи одного бита информации в канал связи будет соответствовать 1 единице модельного времени, следовательно, 1 единица модельного времени = 416,6 мкс.

2. Произведите расчет задержки распространения сигнала T_3 в канале связи исходя из заданной длины КС и скорости распространения сигнала (0,77 с, где c – скорость света).

Например, задано $L_K = 2000$ км, тогда:

$$T_3 = L_{КС}/0,77c = 8,658 \text{ мс} = 20,81 \text{ единиц модельного времени.}$$

С учетом округления до целых получим $T_3 = 21$ единица модельного времени.

3. Выполните расчет времени T_a — тайм-аута ожидания подтверждения, исходя из максимальных задержек во всех элементах системы передачи:

$$T_a > T1_{BK} + T_3 + T2_{АН} + T2_{BK} + T_3 + T1_{АН}, \quad (2)$$

где $T1_{BK}$ - время выдачи информационного кадра в КС станцией А;

T_3 - время задержки распространения сигнала в КС;

$T2_{АН}$ - время анализа кадра на станции В (принято равным в модели 1 единице модельного времени);

$T2_{BK}$ - время выдачи управляющего кадра в КС на станции В;

$T1_{АН}$ - время анализа кадра на станции А (принято равным в модели 1 единице модельного времени).

Длина управляющего кадра, содержащего только заголовок и концевик, составляет 48 бит (рисунок 1), длина информационного кадра увеличивается на принятую величину I_{max} .

Например, при $I_{max} = 128$ бит получим:

$$T_a > 176 + 21 + 1 + 48 + 21 + 1 = 268 \text{ единиц модельного времени.}$$

при $I_{max} = 256$ бит получим $T_a > 396$ и т.д.

4. Выполните расчет времени моделирования работы информационного канала.

В таблице 1 приведено время моделирования работы исследуемого варианта информационного канала в секундах. Для проведения эксперимента необходимо пересчитать это время в единицы условного модельного времени. В п.1 дана методика калибровки модели исходя из заданной скорости системы передачи. Теперь нужно рассчитать общее время моделирования.

Например, $V_M = 2400$ бит/с. Было получено:

$$1 \text{ единица модельного времени} = 416,6 \text{ мкс.}$$

Положим, что цикл моделирования (из таблицы 1) составляет 150 с. Получим:

$$150 \text{ с} / 416,6 \text{ мкс} = 360000 \text{ единиц модельного времени.}$$

Этап № 1. Сравнение характеристик систем передачи с ожиданием подтверждения и групповым переспросом.

Проведите имитационные эксперименты для системы с ожиданием подтверждения на каждый посланный кадр и для системы с групповым переспросом.

Первый тип системы соответствует установке в имитационной модели следующего значения строки, задающей емкость многоканального устройства - 100 BUF1 STORAGE 1.

Для второго типа системы, использующего окно передачи равное 3, необходимо установить соответствующую емкость многоканального устройства, т.е. значение данной строки - 100 BUF1 STORAGE 3 [1].

Остальные параметры исследуемой системы передачи задаются в модели следующим образом:

- длина передаваемых сообщений указывается в операторе INITIAL X1;
- задаваемая в эксперименте длина пакета данных устанавливается с помощью оператора INITIAL X2;
- средняя вероятность ошибки на бит информации задается в операторе INITIAL X4, при этом указывается величина вероятности умноженная на $1E+6$ (т.е. для $P_{\text{ош}} = 1E-4$ надо задавать величину 100);
- задержка распространения сигнала в канале связи T_3 указывается в единицах модельного времени (методику расчета см. выше) в операторе INITIAL X5;

- тайм-аут ожидания подтверждения T_a (рассчитанный в условных единицах времени по вышеприведенной методике) устанавливается в операторе INITIAL X6;
- время моделирования работы информационного канала (в условных единицах времени) указывается в операторе INITIAL X7.

Для первого и второго типов системы необходимо исследовать зависимость характеристик информационного канала от длины пакета данных I_{max} .

На основе проведенной серии экспериментов постройте следующие зависимости:

$$T_{П\ CP} = f(I_{max}); \quad (3)$$

$$T_{С\ CP} = f(I_{max}); \quad (4)$$

$$E = f(I_{max}). \quad (5)$$

На основе анализа полученных значений выберите оптимальный по критерию E (максимума относительной эффективности использования канала связи) системный параметр I_{max} для исследуемых типов систем.

Этап № 2. Оценка влияния величины тайм-аута ожидания подтверждения на характеристики информационного канала.

Проведите исследование системы с групповым переспросом при величине окна передачи равном 3 и выбранном на предыдущем этапе оптимальном значении I_{max} .

Эксперимент предполагает изменение величины T_a в пределах порядка +100 % - 20 % от предварительно рассчитанного значения.

Постройте зависимости $T_{П\ CP} = f(T_a)$, $T_{С\ CP} = f(T_a)$, $E = f(T_a)$. По результатам эксперимента выберите оптимальное значение T_a по критерию E .

Этап № 3. Исследование влияния окна передачи на характеристики информационного канала при работе в режиме с групповым переспросом.

Проведите эксперименты для системы с ранее выбранными оптимальными значениями I_{max} и T_a . Переменным параметром в этой серии экспериментов является значение окна передачи W , которое нужно увеличивать, начиная со значения равного 2 с шагом 1, с отслеживанием изменения критерия E . Эксперимент можно завершить после прохождения максимального значения относительной

эффективной скорости E . Постройте зависимости $T_{П\ CP} = f(W)$, $T_{С\ CP} = f(W)$, $E = f(W)$.

По результатам эксперимента выберите оптимальное значение W по критерию E .

Фрагмент моделирующей программы находится в приложении А.

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Результаты расчетов по калибровке модели.
3. Результаты расчетов по определению величин задержки распространения сигнала и тайм-аута ожидания подтверждения.
4. Результаты расчетов интервала моделирования системы в единицах модельного времени.
5. Результаты, полученные на этапах 1 - 3 и зависимости характеристик информационного канала от системных параметров.
6. Выводы по результатам моделирования с обоснованием выбранных оптимальных значений системных параметров.
7. Список использованных источников.

2 Лабораторная работа № 2. Исследование транспортного соединения в сети связи

Цель работы. Исследование характеристик транспортного соединения в широкомасштабной сети обмена информацией. Оценивается влияние на характеристики транспортного канала параметров магистральной и абонентских подсетей передачи данных. Для исследования используется имитационная модель транспортного соединения.

Теоретическая справка.

Основой современных широкомасштабных информационных сетей связи (ИВС) является транспортная подсистема (транспортная сеть), которая обеспечивает базу для разнообразных услуг – прикладных подсистем данной сети. С точки зрения

концепции взаимосвязи открытых систем транспортная сеть реализует четыре нижних уровня семиуровневой иерархии протоколов — физический, управления информационным каналом, сетевой и транспортный. Само же транспортное соединение служит поставщиком сервиса для протоколов сеансового уровня, уровня представления и прикладного [1].

Работа транспортного протокола строится с учетом наиболее полного использования услуг двух нижележащих протокольных уровней – канального и сетевого. Протокол управления информационным каналом (наиболее широко используются протоколы HDLC - лабораторная работа № 1) обеспечивает доставку данных по двухточечным участкам сети. С помощью различных процедур восстановления данных этот протокол гарантирует надежность передачи пакетов данных, помещенных в кадры. Протоколы сетевого уровня (типа X.25/3) отвечают за установление и поддержание сквозного виртуального канала между взаимодействующими абонентами с передачей по этому каналу пакетов данных. Транспортный протокол обеспечивает сервис передачи фрагментов сообщений, может содержать дополнительные процедуры для повышения надежности доставки, включает альтернативные режимы связи — например, срочную доставку данных [1].

Описание работы.

В данной лабораторной работе используется имитационная модель транспортного соединения двух абонентов через абонентские подсети и магистральную сеть связи. Моделируется работа фрагмента информационной сети (ИВС) с коммутацией пакетов (рисунок 3) [3].

Модель имитирует поступление от абонента (АП1) фрагментов сообщений распределенных во времени в соответствии с экспоненциальным законом и заданной средней интенсивностью для передачи их по транспортному соединению абоненту АП2.

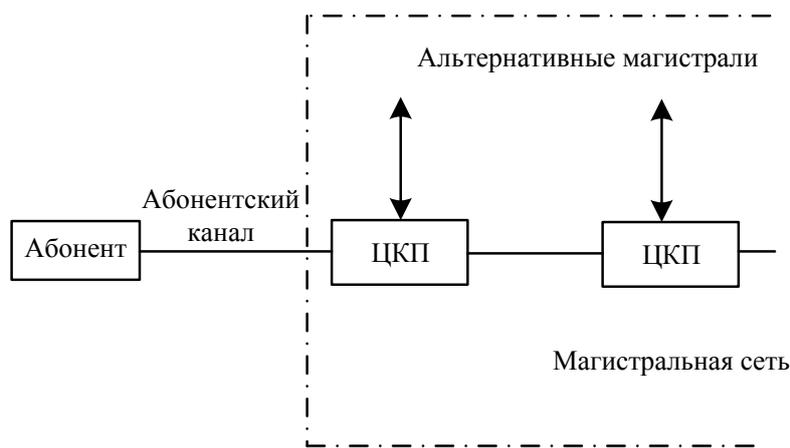


Рисунок 3 - Структура имитационной модели транспортного соединения

Модель позволяет изменять характеристики входного потока фрагментов, абонентских каналов связи (КС), магистральных каналов связи, имитировать степень загрузки магистральной сети путем изменения интенсивности входящих магистральных потоков в центры коммутации пакетов (ЦКП), исследовать режимы нормальной и срочной доставки по транспортному каналу.

На модели могут быть получены характеристики загрузки отдельных каналов связи и ЦКП, временные параметры доставки фрагментов, сведения о входных и выходных очередях в центрах сети.

Входными переменными модели являются:

- средний интервал времени между моментами поступления фрагментов сообщений;
- средний интервал времени между моментами поступления пакетов в центры коммутации пакетов магистральной сети;
- характеристика качества использованных каналов связи в виде процента повторных передач пакета в канале при его передаче;
- скорость передачи в абонентских каналах связи;
- скорость передачи в магистральных каналах связи;
- длина сегмента сообщения передаваемого от абонента;
- режим передачи данных от абонента - нормальный или срочный;
- время моделирования.

Порядок выполнения лабораторной работы.

В таблице 2 исходных данных приведены основные параметры исследуемого транспортного соединения. Исходные данные вводятся в интерактивном режиме.

Таблица 2 - Исходные данные для проведения имитационных экспериментов

№ варианта	Скорость в магистр. КС	Ср. интервал для нагрузки в ЦК	Процент повт. передач в КС
1	2	3	4
1	64000	7	5
2	64000	8	10
3	128000	4	5
4	128000	5	10
5	64000	8	15
6	64000	8	5
7	64000	4	10
8	128000	5	5
9	128000	8	10
10	128000	4	5
11	128000	5	10
12	64000	8	10
13	128000	5	5
14	128000	8	10
15	64000	5	10
16	128000	8	5

Производятся следующие серии имитационных экспериментов с целью получения основных характеристик транспортного соединения.

1. Исследование зависимости характеристик доставки сообщений от интенсивности входного потока информации у абонента. Получаемые зависимости:

- $T_{\text{ср.дост.}} = f \{ T_{\text{ср.вх.сегментов}} \};$
- $Q_{\text{макс.}} = f \{ T_{\text{ср.вх.сегментов}} \};$
- $Q_{\text{макс.}}$ - находится в файле статистики для очереди QUEUE BUF1A.

Сравнительные характеристики режимов нормальной и срочной доставки по транспортному каналу. Проводится эксперимент для исходных данных предыдущего прогона модели с близким к максимальному значением $T_{\text{ср.дост.}}$.

2. Исследование зависимости характеристик доставки от скорости в

абонентских КС.

Проводится серия экспериментов для одного из значений интенсивности входного потока сегментов с изменением скорости в абонентских линиях по фиксированному ряду – 1200, 2400, 4800, 9200, 14400, 19200 и 28800 бит/с.

Получаемые зависимости:

- $T_{\text{ср.дост.}} = f \{ V_{\text{аб.кс}} \};$
- $Q_{\text{макс.}} = f \{ V_{\text{аб.кс}} \}.$

3. Исследование зависимости характеристик доставки от скорости в магистральных КС.

Проводится серия экспериментов для одного из фиксированных значений скорости в абонентских КС с изменением скорости в магистральной сети. Для экспериментов выбирается несколько значений из фиксированного ряда – 32, 64, 128, 256, 512 Кбит/с.

Получаемые зависимости:

- $T_{\text{ср.дост.}} = f \{ V_{\text{маг.кс}} \};$
- $Q_{\text{макс.кс}} = f \{ V_{\text{маг.кс}} \}.$

Величина $Q_{\text{макс.кс}}$ вычисляется по файлу статистики по результатам эксперимента как сумма максимальных длин очередей - (QUEUE) BUF1I, BUF1O, BUF2I, BUF2O, BUF3I, BUF3O.

4. Исследование зависимости характеристик доставки сообщений от загруженности магистральной сети.

Проводится серия экспериментов для одного из фиксированных значений скорости в абонентских КС с изменением «среднего интервала для нагрузки в ЦК».

Получаемые зависимости:

$$T_{\text{ср.дост.}} = f \{ T_{\text{ср.нагр.цк}} \} Q_{\text{макс.кс}} = f \{ T_{\text{ср.нагр.цк}} \}. \quad (6)$$

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Результаты исследований зависимости характеристик доставки сообщений от интенсивности входного потока

3. Результаты исследований зависимости характеристик доставки от скорости в абонентских КС.

4. Результаты исследований зависимости характеристик доставки от скорости в магистральных КС.

5. Результаты исследований зависимости характеристик доставки сообщений от загруженности магистральной сети.

6. Выводы по результатам исследований.

7. Список использованных источников.

3 Лабораторная работа № 3. Первичные цифровые системы передачи

Цель работы. Целью выполнения лабораторной работы является изучение 30-канальной первичной цифровой системы передачи.

Теоретическая справка.

Объектом изучения является система типа ИКМ–30.

В процессе выполнения работы студент должен изучить принцип формирования цифрового канала системы, его основные параметры, усвоить принципы и способы преобразований сигналов в аппаратуре ЦСП, их дискретизации, квантования по уровню и кодирования, ознакомиться со структурными схемами аппаратуры и отдельных ее узлов, конструктивными особенностями оборудования аппаратуры.

Технические данные аппаратуры и состав оборудования.

Первичная цифровая система передачи ИКМ–30с–4 предназначена для работы на сельских сетях по одночетверочным симметричным подвесным и подземным кабелям типа КСПП (КСППБ) с жилами $d = 0,9$ (1,2) мм по однокабельной схеме.

Система обеспечивает организацию:

– тридцати стандартных телефонных каналов (от 300 Гц до 3400 Гц) в качестве соединительных и абонентских линий;

- двух каналов передачи сигналов управления и взаимодействия (СУВ) постоянным током для каждого телефонного канала;

- одного двустороннего канала вещания вместо четырех телефонных каналов;
- передачи дискретной информации;
- выделения 12 каналов из линейного тракта;
- дистанционного обслуживания и контроля оборудования.

В системе используется временное разделение каналов [2].

Скорость передачи линейного сигнала (импульсов цифрового сигнала) 2048 кбит/с, что соответствует тактовой частоте 2048 кГц. Используемый код ЧПИ или МЧПИ. Амплитуда импульсов цифрового сигнала $\pm (3 \pm 0,3)$ В на сопротивлении нагрузки 120 Ом.

Дальность действия связи 220 км. Длина участка между обслуживаемыми пунктами ОРП–ОРП и ОП–ОРП 90 км (длина секции ДП 45 км) и 110 км (длина секции ДП 55 км) при использовании кабеля соответственно $d = 0,9$ и $1,2$ мм. Длина регенерационного участка составляет 2 – 4 км. Затухание его на полутаковой частоте 1024 кГц не должно превышать 36 дБ. Максимальное число НРП между двумя питающими станциями 24.

Максимальное напряжение ДП 240 В, ток ДП 50 ± 5 мА.

Напряжение источника постоянного тока для питания аппаратуры от 54 В до 72 В. При организации связи на базе системы передачи ИКМ–30с–4 (рисунок 4) предусматриваются - центральная станция, оконечная станция, станция выделения каналов и необслуживаемые регенерационные пункты.

Аппаратура системы содержит:

- АЦО–11 - блок аналого-цифрового оборудования;
- ОКО–14 - блок оборудования канальных окончаний;
- ОЛТ–14 - блок оборудования линейного тракта;
- УСО–01 - блок унифицированного сервисного оборудования;
- ОРЦ–11 - блок оборудования разветвления;
- НРП - необслуживаемый регенерационный пункт.

Все перечисленные блоки размещаются на стоечных каркасах. Исключение составляет оборудование НРП. Оно располагается в металлическом шкафу-контейнере, который устанавливается на опорах воздушных линий связи или специальных опорах подземных линий связи.

При помощи цифрового оборудования (блок АЦО-11) формируется групповой цифровой сигнал, при передаче, и осуществляется образование канальных сигналов, при приеме. Оно может использоваться самостоятельно в качестве каналообразующего оборудования других систем передачи [2].

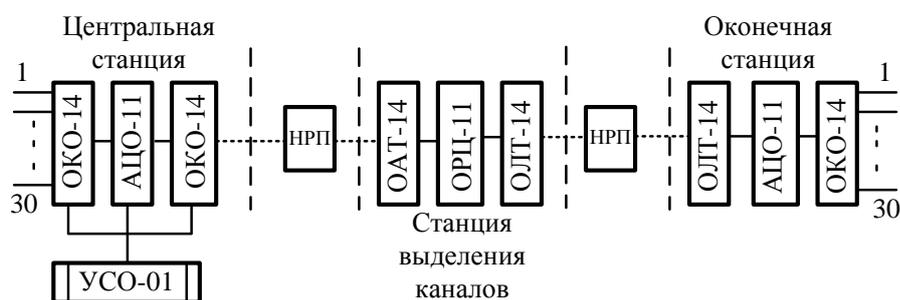


Рисунок 4 - Схема организации связи с применением аппаратуры ИКМ-30 с-4

В индивидуальную часть каждого канала входят передающий и приемный LC-фильтры нижних частот, амплитудно-импульсный модулятор, временной селектор, согласующие и усилительные каскады.

Основными узлами групповой части оборудования являются аналого-цифровой (АЦП) и цифро-аналоговый (ЦАП) преобразователи.

В групповую часть блока входят также устройства цифрового оборудования (ЦО) передачи и приема. К первым относятся:

- задающий генератор (2048000 ± 70 Гц);
- формирователи импульсных последовательностей, циклового синхросигнала и группового цифрового сигнала.

Ко вторым относятся:

- приемник циклового синхросигнала;
- схемы поиска, поддержания и контроля синхронизма;
- приемники вспомогательных сигналов;

– формирователи импульсных последовательностей.

В оборудование внешнего стыка (ВС) блока входят:

- преобразователи кода приема и передачи;
- схемы выделения тактовой частоты;
- приемник сигнала.

Блок содержит устройства для контроля исправности и состояния оборудования (КС) [2].

Оборудование канальных окончаний (блок ОКО–14) обеспечивает использование каналов ТЧ в качестве межстанционных и абонентских линий. При помощи его каналы ТЧ могут работать как в двухпроводном (с остаточным затуханием 7 дБ), так и в четырехпроводном (с уровнями на входе и выходе –3,5 дБ). Помимо этого оборудование позволяет организовать входы и выходы двух сигнальных каналов на каждый канал ТЧ. По сигнальным каналам передаются сигналы управления и взаимодействия (СУВ) между АТС.

При помощи оборудования линейного тракта (блок ОЛТ–14) обеспечиваются передача и прием линейного цифрового сигнала, регенерация (восстановление) сигнала, сигнализация в случае повышения коэффициента ошибок принимаемого сигнала, дистанционное питание НРП, организация служебной связи, передача и прием сигналов дистанционного обслуживания, возможность измерения параметров кабеля.

Унифицированное сервисное оборудование (блок УСО–01) входит в состав системы обслуживания и контроля работы аппаратуры. Блок УСО–01 автоматически проверяет все блоки аппаратуры, посылая в каждый из них только один запрос (00). Один цикл обзора (от адреса 00 до адреса 99) составляет около 100 мс. Если при обзоре возникает аварийная ситуация, то в соответствующий блок посылается серия запросов (01, 02, ... 0,14), после чего в УСО–01 поступает информация о конкретной неисправности.

При помощи оборудования цифрового разветвления — блок (ОРЦ–11) из линейного цифрового сигнала выделяются до 12 каналов ТЧ и относящиеся к ним сигнальные каналы.

Линейный цифровой сигнал от центральной станции к оконечной проходит без изменения, и сигналы, необходимые для выделения, ответвляются из него на станции выделения параллельно.

Цифровой сигнал обратного направления очищается в соответствующих канальных интервалах и разрядах КИ16 и вместо них вводятся сигналы каналов станции выделения.

На станции выделения имеется задающий генератор, синхронизируемый от сигнала оконечной станции [2].

Оборудование для передачи в сторону центральной станции формирует полный цикл временного спектра цифрового сигнала, в том числе цикловый и сверхцикловый синхросигналы. Установка фазы генераторного оборудования станции производится синхросигналами (цикловым и сверхцикловым), выделяемыми из линейного сигнала, приходящего от оконечной станции.

Посредством устройств необслуживаемых регенерационных пунктов НРП обеспечивается:

- восстановление линейного цифрового сигнала, передаваемого в обоих направлениях;
- прием дистанционного питания, управляющего сигнала телеконтроля;
- организация служебной связи;
- возможность измерений параметров кабеля и др.

Формирование цифрового сигнала.

Цифровой сигнал в первичной системе передачи ИКМ–30 формируется на основе импульсно-кодовой модуляции. Его образование можно разделить на три операции. Сначала первичный сигнал $S(t)$ дискретизируется (квантуется по времени), т.е. превращается в амплитудно-импульсно-модулированный сигнал (САИМ). Затем этот сигнал квантуется по амплитуде (уровню) и, наконец, квантовый сигнал (СКВ) кодируется при помощи равномерного двоичного кода. В итоге образуется цифровой, или ИКМ–сигнал (СКД), представляющий собой поток двочных символов. Таким образом, весь процесс аналого-цифрового преобразования сигнала в ЦСП можно представить в следующем виде (рисунок 5) [2].

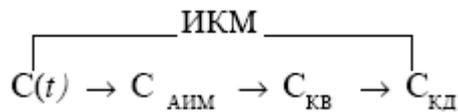


Рисунок 5 - Процесс аналого-цифрового преобразования

Дискретизация первичного сигнала.

Преобразование первичного сигнала в АИМ-сигнал необходимо, чтобы обеспечить возможность временного уплотнения группового тракта системы передачи.

Из рисунка 6 видно, что в образовавшиеся интервалы времени между ближайшими импульсами одного канала передаются импульсы других каналов системы. Процесс дискретизации первичного сигнала осуществляется при помощи амплитудно-импульсного модулятора — электронного реле, которое управляется посредством последовательности прямоугольных импульсов [2].

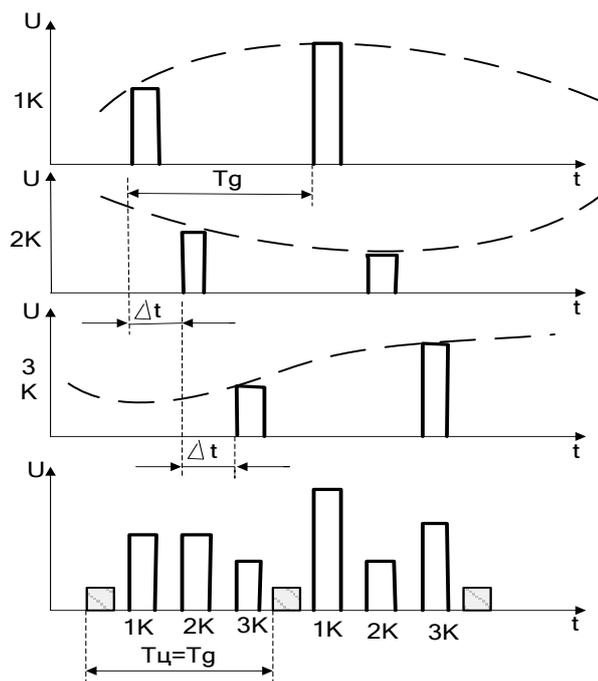


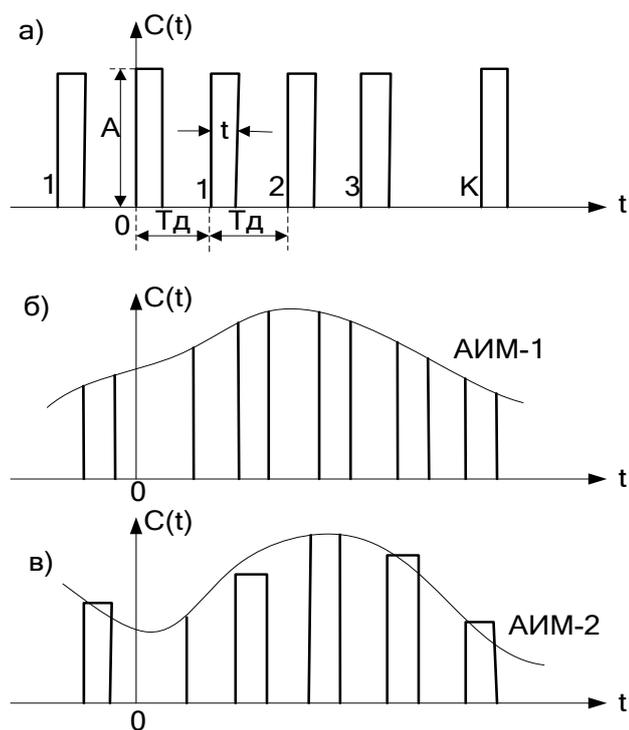
Рисунок 6 - Принцип временного разделения каналов в ЦСП

Она характеризуется следующими параметрами:

- A - высота (амплитуда импульса);
- t_u - длительность (ширина импульса);
- T_d - период дискретизации или следования импульса;

- $t_k = kT_d$ - фаза или временное положение импульсов;
- $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ — тактовые точки на оси времени, или моменты появления импульсов;
- $f_d = 1/T_d$ — частота дискретизации, или частота следования импульсов;
- $S = T_d / t_u$ — скважность.

При воздействии первичным сигналом на последовательность импульсов в модуляторе образуется АИМ-сигнал, амплитуда которого изменяется по огибающей, соответствующей кривой изменения первичного сигнала. Различают два вида амплитудно-импульсной модуляции — первого и второго рода (АИМ-I и АИМ-II). При АИМ-I вершины импульсов изменяются в соответствии с огибающей кривой первичного сигнала, при АИМ-II огибающая — горизонтальная линия с ординантой, соответствующей значению сигнала в тактовой точке. Различия между ними хорошо видны на рисунке 7, б и в.



- a* — последовательность управляющих импульсов;
- б* — при АИМ-I;
- в* — при АИМ-II.

Рисунок 7 - Формы дискретных сигналов

Структурная схема аппаратуры.

Упрощенная структурная схема оконечной станции ЦСП показана на рисунке 8. Рассмотрим работу станции и назначение ее отдельных узлов. Первичный (телефонный) сигнал от абонента через дифференциальную систему ДС, ограничитель амплитуд (на схеме не показан) поступает на вход фильтра нижних частот ФНЧ. При помощи этого фильтра спектр частот телефонного сигнала ограничивается сверху частотой 3,4 кГц. Далее этот сигнал поступает на индивидуальный модулятор АИМ – 1, представляющий собой электронный ключ «Кл». Работой ключа управляет каналная импульсная последовательность, подаваемая от генераторного оборудования передачи ГОпер. Импульсные последовательности каналов сдвинуты по времени друг относительно друга на величину канального интервала (рисунок 8) [12].

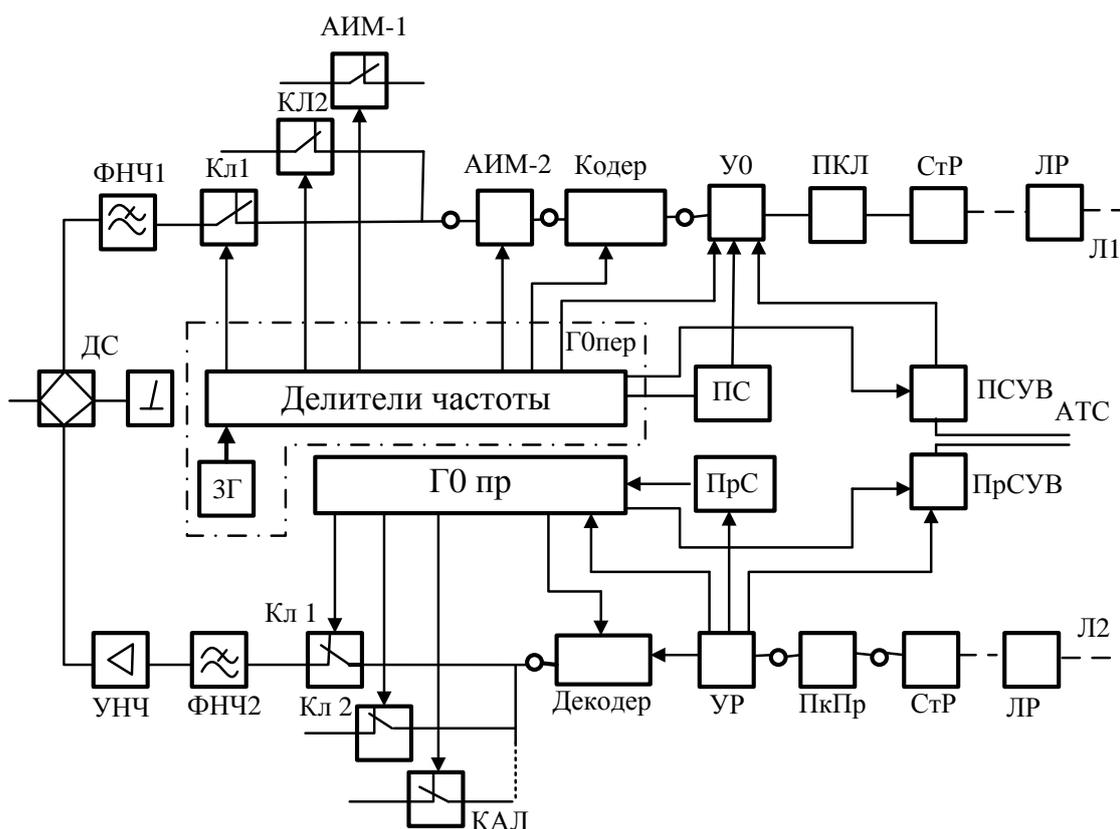


Рисунок 8 - Структурная схема оконечной станции ЦСП

Выходы электронных ключей всех каналов запараллелены и включены в общий групповой такт системы. Образовавшийся в нем групповой АИМ-I — сигнал

поступает на групповой модулятор АИМ–II, при помощи которого вершины импульсов сигнала делаются плоскими и горизонтальными.

Кроме того, увеличивается ширина импульсов.

В аппаратуре ЦСП модулятор АИМ–II входит в состав кодера. Затем в кодере производится квантование и кодирование каждого импульса АИМ–II-сигнала. Одновременно с этим осуществляется сжатие динамического диапазона сигнала в соответствии с описанной выше характеристикой компрессии.

На выходе кодера возникает групповой цифровой АИМ–сигнал. Он представляет собой последовательность восьмиразрядных кодовых групп, состоящих из импульсов и пробелов. В этот сигнал через устройства объединения УО вводятся сигналы СУВ цикловой и сверхциклового синхронизации.

Цифровые сигналы СУВ формируются в передатчике ПСУВ из сигналов управления и взаимодействия, поступающих от АТС. Сигналы цифровой синхронизации образуются в передатчике синхросигналов ПС. На выходе устройства УО возникает групповой однополярный сигнал. Передавать в линию однополярный сигнал нецелесообразно по ряду причин, например из-за невозможности включения в нее трансформаторов. Поэтому однополярный сигнал предварительно преобразуется в биполярный с чередованием полярности импульсов (код ЧПИ).

Преобразование однополярного сигнала в биполярный производится в преобразователе кода передачи ПКП. Полученный биполярный сигнал поступает в станционный регенератор СтР, в котором приводятся в норму все его характеристики, и передается в линию.

В процессе распространения по линии цифровой сигнал искажается (меняются амплитуда и ширина, форма и временное положение импульсов). Для восстановления его характеристик служат линейные регенераторы ЛР.

Управление работой всех узлов передающей части аппаратуры осуществляется посредством импульсных последовательностей, вырабатываемых в генераторном оборудовании передачи ГОпер.

На приемной станции после регенерации в станционном регенераторе СтР цифровой сигнал подвергается обратным относительно передающей станции преобразованиям [12].

В преобразователе кода приема ПКпр сигнал преобразуется из биполярного в однополярный и поступает в устройство разделения УР. В нем различные по назначению сигналы распределяются по своим цепям. Телефонные сигналы поступают в декодер, синхросигналы — в приемник синхросигналов ПрС, а сигналы управления и взаимодействия — в приемник ПрСУВ.

Равенство скоростей обработки сигналов на приемной и передающей станциях поддерживается при помощи сигнала тактовой частоты. Сигналы тактовой частоты выделяются из цифрового потока, поступающего на приемную станцию, и подаются в генераторное оборудование приема ГОпр, обеспечивая его синхронную работу относительно ГОпер (своего задающего генератора ГОпр не имеет).

Правильное распределение сигналов (синфазность) по телефонным каналам и каналам СУВ обеспечивается посредством синхросигналов в цикловой и сверхцикловой синхронизации.

Телефонный цифровой сигнал поступает в декодер, в котором последовательность кодовых групп преобразуется в последовательность импульсов (отсчетов), восстанавливаются групповой АИМ–II–сигнал, а также его динамический диапазон. С выхода АИМ–II–сигнал подается на общий вход канальных временных селекторов, при помощи которых из него выделяются импульсы — отсчеты канальных сигналов.

Из последовательности импульсов, поступающих на фильтр нижних частот ФНЧ2 канала, в нем восстанавливается первичный (телефонный) сигнал. Последний усиливается усилителем нижних частот УНЧ и, пройдя через дифференциальную систему ДС, поступает к абоненту.

Сигналы СУВ из цифрового сигнала поступают в приемник ПрСУВ, где они преобразуются, а затем передаются на АТС [12].

Кодер и декодер. В кодере отсчеты передаваемого сигнала преобразуются в соответствующие двоичные кодовые группы.

В изучаемой аппаратуре используются кодеры взвешивающего типа. Принцип кодирования по способу взвешивания (сравнения) подробно описан выше.

Упрощенная структурная схема нелинейного кодера взвешивающего типа представлена на рисунке 9. На ней показаны основные узлы кодера:

- компаратор K , определяющий знак разности между значениями токов отсчетов J и эталонов $J_{\text{эт}}$;

- блок выбора и коммутации эталонных токов в БКЭ;

- компрессирующая логика КЛ (цифровой эспандер), обеспечивающая неравномерное квантование АИМ–сигнала;

- генераторы положительных и отрицательных эталонных токов ГЭТ1 и ГЭТ2, формирующие полярность и величину эталонов (число эталонов, вырабатываемых каждым из генераторов, равно 11, их значения равны Δ , 2Δ , 4Δ , ... 1024Δ условных единиц);

- цифровой регистр ЦР, используемый для записи решений компаратора после каждого такта кодирования и формирующий структуры кодовой группы (в зависимости от решения компаратор выбирает полярность ГЭТ и управляет работой компенсирующей логики);

- преобразователь кода ПК, посредством которого считывается состояние выходов $1 \dots 8$ ЦР, и параллельный код преобразуется в последовательный.

Поясним кратко взаимодействие узлов кодера при формировании кодовой группы.

В исходном положении, то есть когда нет отсчета на входе компаратора, все выходы ЦР находятся в состоянии 0, эталонные токи равны нулю. При поступлении на вход I компаратора положительного отсчета первый выход ЦР переводится в состояние 1, благодаря чему включается ГЭТ1. При этом ток эталона на входе 2 компаратора будет равен нулю. Поскольку $J > J_{\text{эт}}$, то на выходе 3 компаратора формируется 0 (пробел) и состояние 1 на выходе I ЦР сохраняется. На этом заканчивается первый этап кодирования [12].

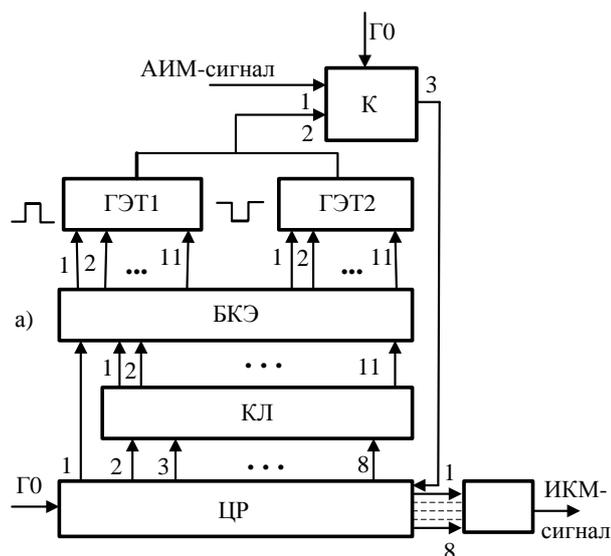


Рисунок 9 - Структурная схема нелинейного кодера взвешивающего типа

На втором этапе определяется и кодируется номер сегмента, в пределах которого и находится значение поступившего отсчета. Этот этап включает в себя три такта и начинается с того, что выход 2 ЦР переводится в состояние 1, а на вход 2 компаратора поступает эталонный ток $J_{эт} = 128\Delta$ условных единиц.

При $J > J_{эт}$ на выходе компаратора возникает 0, и состояние 1 на выходе 2 ЦР сохраняется.

При $J < J_{эт}$ на выходе компаратора возникает 1, а состояние 1 на выходе 2 ЦР переходит в состояние 0.

Аналогичным образом кодер работает и при последующих тактах второго этапа кодирования, а также при четырех тактах третьего этапа, когда определяется и кодируется номер уровня отсчета в пределах сегмента. По мере завершения тактов кодирования, преобразователь кода считывает состояния 1 ... 8 выходов ЦР, преобразуя параллельный код в последовательный, и в итоге на выходе кодера возникает кодовая группа данного отсчета [12].

Отсчет передаваемого сигнала восстанавливается из кодовой группы при помощи декодера. Упрощенная структурная схема декодера показана на рисунке 10.

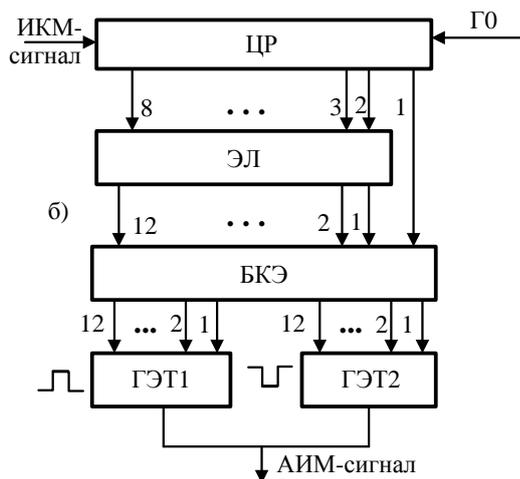


Рисунок 10 - Структурная схема декодера

Это нелинейный декодер взвешивающего типа с цифровым эспандированием эталонов. В состав декодера входят цифровой регистр ЦР, блок экспандирующей логики ЭЛ, блок выбора и коммутации эталонных токов БКЭ и генераторы эталонных токов положительной и отрицательной полярностей ГЭТ1 и ГЭТ2.

Восьмиразрядная кодовая группа ИКМ-сигнала, поступившая на вход декодера, записывается в ЦР, формируясь на его выходах 1 ... 8 в виде параллельного кода. Первый разряд этой группы определяет полярность включаемого ГЭТ.

Последующие 2 ... 8 разряды определяют номер сегмента и уровень квантования на характеристике эспандирования [12].

Генераторное оборудование. Генераторное оборудование (рисунок 11) в аппаратуре ЦСП служит для формирования последовательностей импульсов, необходимых для управления работой функциональных узлов аппаратуры.

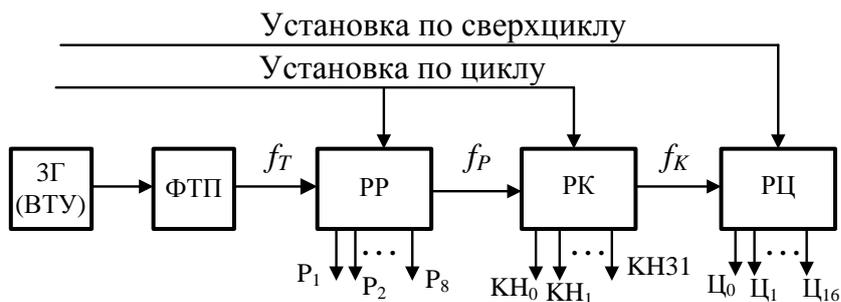


Рисунок 11 - Структурная схема генераторного оборудования

Они определяют порядок и скорость обработки сигналов в каналах и групповых трактах системы передачи. Генераторное оборудование содержит задающий генератор тактовой частоты (на передающей станции) или выделитель тактовой частоты (на приемной станции), формирователь тактовой последовательности импульсов, распределители - разрядный, канальный и цикловый.

Задающий генератор вырабатывает высокостабильный гармонический сигнал тактовой частоты f_T , который затем при помощи формирователя ФТП преобразуется в основную импульсную последовательность тактовой частоты 2048 кГц со скважностью, равной 2. Далее при помощи деления частоты из нее формируются все необходимые для работы аппаратуры последовательности импульсов [12].

Регенератор. Достоинством цифровой системы передачи является ее способность регенерировать (восстанавливать) сигнал в процессе его передачи по линии связи. Восстановление цифрового сигнала осуществляется при помощи регенераторов, включаемых в линию через определенные интервалы.

При передаче по линии цифровой сигнал искажается, изменяются его параметры. Это происходит вследствие особенностей электрических характеристик линии связи и наличия в ней помех. Изменяются форма, амплитуда и ширина импульсов, фазовое положение их друг относительно друга.

Так, за счет неравномерности амплитудно-частотной характеристики такта передачи возникают так называемые искажения импульсов I и II рода. Искажения I рода создаются за счет ограничения полосы частот передачи сверху, а искажения II рода за счет ограничения полосы частот снизу [12].

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Основные технические данные изучаемой аппаратуры ИКМ–30с–4.
3. Структурная схема оконечной станции с краткими пояснениями назначения основных узлов.
4. Структурные схемы кодера и декодера с краткими пояснениями назначения узлов.

5. Пояснение выполненного кодирования заданного отсчета;
6. Выводы по результатам исследований.
7. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Какую иерархию систем передачи образуют существующие ЦСП и в чем их особенности?
2. Каковы перспективы применения ЦСП и развития сетей цифровой связи на железнодорожном транспорте?
3. В чем состоит сущность и практическое значение теоремы Котельникова?
4. Как формируется цифровой сигнал на основе импульсно-кодовой модуляции?
5. Для чего требуется дискретизация первичных сигналов и как она осуществляется?
6. Для какой цели квантуются сигналы по уровню и какие существуют виды квантования?
7. Что такое сжатие динамического диапазона сигналов и какую амплитудную характеристику должен иметь сжиматель, чтобы оно происходило?
8. Что такое межсимвольные помехи и чем они вызваны?
9. Что представляет собой временной спектр системы ИКМ–30с–4 и какие основные элементы в него входят?
10. Для чего применяется кодирование сигналов в ЦСП и каким способом оно производится?
11. Для какой цели в передающей и приемный тракты каналов ТЧ включаются фильтры нижних частот?
12. Какие требования предъявляются к линейному цифровому сигналу?
13. Какие виды синхронизации применяются в ЦСП и как она осуществляется?
14. Какими основными параметрами характеризуются цифровые системы передачи?
16. Как устроен регенератор и какие основные операции в нем производятся?

17. Сколько двоичных символов содержит кодовая группа цифрового сигнала и какую роль они выполняют?

18. Чем и как обеспечивается высокая помехозащищенность цифрового сигнала?

19. В чем состоят основные особенности, достоинства и недостатки цифровых и аналоговых систем передачи?

20. Какими характеристиками оценивается качество передачи по каналам ГЧ?

4 Лабораторная работа № 4. Цифровая система коммутации «М-200»

Цель работы. Изучить назначение и технические характеристики цифровой автоматической телефонной станции (ЦАТС) «М-200».

Теоретическая справка.

Цифровая автоматическая телефонная станция «М-200» – это современное оборудование, предназначенное для автоматической коммутации абонентских и соединительных линий во взаимоувязанной сети общего пользования РФ и ведомственных сетях связи.

Область применения «М-200»:

- учрежденческо-производственная АТС «М-200»;
- сельская оконечная АТС «М-200»;
- сельская узловая АТС «М-200»;
- сельская центральная АТС «М-200»;
- сельско-пригородный узел АТС «М-200»;
- подстанция «М-200» городской АТС.

АТС «М-200» обеспечивает:

- установление соединения между абонентами своей станции;
- установление соединения между абонентами своей станции и абонентами

городской или сельской сетей;

- установление соединения с абонентами учреждений АТС данной сети;
- установление соединения с абонентами ведомственных сетей, включенных в данную местную сеть;
- выход на международную, междугородную и зоновую сеть связи;
- выход к спецслужбам СТС или ГТС в случае сельско-пригородной телефонной сети.

Общие характеристики:

- модульная конструкция АТС как на аппаратном, так и на программном уровне;
- сопряжение модулей АТС друг с другом по цифровому стыку ИКМ-30;
- наличие у каждого модуля встроенной управляющей микро-ЭВМ с рабочими, тестовыми и сервисными программами;
- наличие широких возможностей конфигурирования АТС;
- круглосуточный, необслуживаемый режим работы АТС.

Интерфейсы внешних стыков, которые поддерживает АТС «М-200»:

- цифровой поток Е1 (G.703) сигнализация абонентской установки (АУ);
- цифровой поток Е1 (G.703) сигнализация ВСК;
- цифровой поток Е1 (G.703) сигнализация 2ВСК;
- цифровой поток Е1 (G.703) сигнализация многочастотным кодом (МЧК) «2 из 6» - «импульсный челнок» (R 1.5);
- цифровой поток Е1 (G.703) сигнализация МЧК - «импульсный пакет»;
- цифровой поток Е1 (G.703) интерфейс цифровой сети с интеграцией служб (ISDN) доступа на первичной скорости EDSS1-PRI;
- цифровой поток Е1 (G.703) интерфейс цифровой сети сигнализация ОКС №7;
- двухпроводная АЛ с импульсным набором номера (сигнализация АЛ с внешней АТС с функцией DISA);
- двухпроводная АЛ с частотным (DTMF) набором номера (сигнализация АЛ

с внешней АТС с функцией DISA).

Система нумерации абонентов в АТС «М-200» может быть любой: закрытой, открытой без индекса или открытой с индексом внешней связи. Допустимы и разные системы нумерации абонентов станции и ее выносных модулей. Значность нумерации может быть любой (от 1 до 7).

В построении АТС можно выделить четыре основных функциональных системы (рисунок 12):

- модуль цифровой коммутации (МЦК);
- модули аналоговых линий (МАЛ);
- модуль оператора (МО).

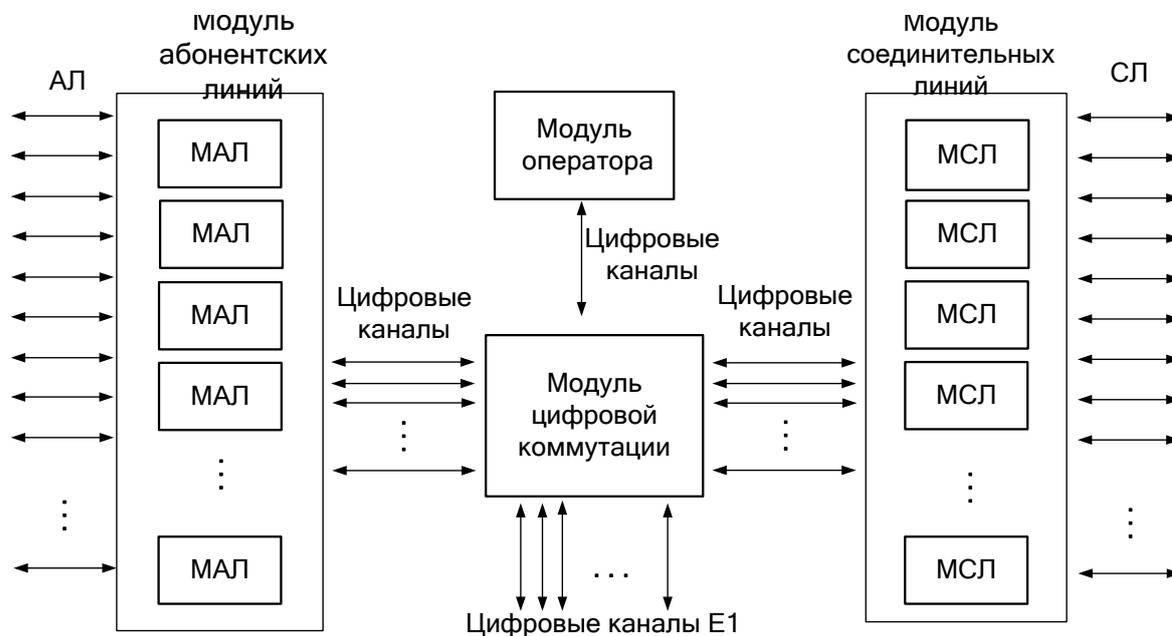


Рисунок 12 – Структурная схема построения АТС «М-200»

Модуль цифровой коммутации (МЦК) – выполняет роль центрального коммутатора АТС.

Модуль аналоговых линий (МАЛ) – терминальный модуль, который обеспечивает подключение аналоговых телефонных аппаратов и используется для подключения к различным аналоговым соединительным линиям.

Модуль оператора (МО) – реализован на базе ПЭВМ в среде MS Windows, что определяет его информативность, наглядность и комфортность. Информация в

каждом из окон автоматически обновляется по мере поступления от ЦАТС. МО есть пакет сервисного ПО, с помощью которого осуществляют конфигурирование АТС, мониторинг функционирования АТС, а также тарификацию разговоров (“Billing”), как непосредственно на ПЭВМ, которая находится у самой АТС, так и с удаленного объекта по модемной связи. Поддержка сетевых функций МО позволяет легко организовать несколько рабочих мест, с которых можно получать всю техническую информацию об АТС.

Возможная емкость станций системы «М-200» определяется модульным построением структуры АТС, а также требуемым соотношением между числом АЛ и СЛ. Станция минимальной емкости образуется из одного МАЛ.

АТС «М-200» предусматривает возможность подключения АЛ и СЛ (каналов) со средним использованием в час наибольшей нагрузки (ЧНН) от 0,2 до 0,9 Эрл. В этом диапазоне нагрузок практически отсутствуют потери из-за занятости или недоступности всех возможных путей установления требуемого соединения в цифровом коммутационном поле. Высокая пропускная способность АТС обусловлена использованием полнодоступного коммутационного поля.

В АТС «М-200» каждый модуль имеет собственное управляющее устройство (УУ), т.е. система управления является децентрализованной и ее производительность наращивается одновременно с наращиванием емкости цифровой коммутационной системы. Управляющие устройства отдельных модулей работают независимо, взаимодействуя при обслуживании вызовов по стандартным ЦСЛ. Производительность отдельного УУ определяется в основном типом встроенного микропроцессора.

Для повышения оперативности, информативности связи «М-200» может комплектоваться пультовыми системами. В каждом модуле «М-200» имеется возможность для установки до 24 пультов. Каждый пульт может иметь от 24 до 264 именных программируемых клавиш, которые закрепляются за портами абонентских и соединительных линий.

Станция выполнена в металлическом корпусе и предназначена для установки на горизонтальную поверхность. Основной блок станции представляет собой 16

слотовый кабинет, в котором размещена системная плата. Системная плата является одноплатной микро-ЭВМ, выполненного на базе микропроцессорного комплекса Intel и служит механической основой для размещения 16 универсальных слотов, шины расширения линейных плат. Системная плата осуществляет управление всеми элементами и блоками ЦАТС.

Оборудование выполнено по принципу - плата - кассета- стив - стивный ряд (рисунок 13).

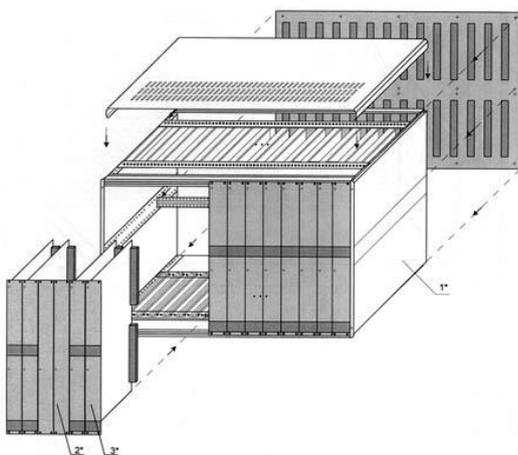


Рисунок 13 – Принцип построения конструктивного оформления АТС «М-200»

Все цифровые коммутаторы (коммутаторы потоков Е1) «М-200» построены на единой интеллектуальной платформе, что обеспечивает единство технологий и сервиса, а также преемственность программного обеспечения. Спектр возможностей коммутаторов охватывает практически все интерфейсы традиционной телефонии (PRI EDSS1, ОКС №7, 1ВСК, 2ВСК, «импульсный челнок», «импульсный пакет», одно- и двухчастотные сигнализации, АДАСЭ).

Цифровые коммутаторы М-200 выполняют следующие функции:

- обеспечивают полнодоступную коммутацию любого цифрового канала с любым (нагрузка до одного Эрл);
- обеспечивают конвертирование (преобразование) протоколов сигнализаций индивидуально цифровых каналов в любом из цифровых потоков;
- выполняют анализ транслируемых (передаваемых) цифр с автоматическим выбором (формированием) направлений исходящей связи;

- обеспечивают маршрутизацию системных сообщений;
- формируют полный учет и регистрацию транзитных соединений;
- предоставляют наглядный мониторинг прохождения системной информации в сигнальных каналах цифровых потоков.

В семейство цифровых коммутаторов «М-200» входят:

- ЦК МР-4 – полнодоступный коммутатор 4-х цифровых потоков;
- ЦК МР-8 – полнодоступный коммутатор 8-ми цифровых потоков;
- ЦК МР-12 – полнодоступный коммутатор 12-ти цифровых потоков;
- ЦК МР-16 – полнодоступный коммутатор 16-ти цифровых потоков;
- ЦК МР-32 – полнодоступный коммутатор 32-х цифровых потоков;
- ЦК МР-64 – полнодоступный коммутатор 64-х цифровых потоков;
- ЦК МР-128 – полнодоступный коммутатор 128 цифровых потоков;
- ЦК МР-256 – полнодоступный коммутатор 256 цифровых потоков.

Модуль аналоговых линий (МАЛ) выполняет роль терминального модуля для подключения от 16 до 208 абонентских оконечных устройств. Абонентская емкость ЦАТС «М-200» набирается с помощью модулей МАЛ. Количество применяемых абонентских модулей МААЛ зависит от полной абонентской емкости АТС. Также МАЛ выполняет роль терминального модуля для подключения до 64 аналоговых соединительных линий.

Доступ абонентов к оборудованию АТС «М-200» обеспечивается по аналоговым АЛ, для которых, в соответствии с рекомендациями Q.511 и Q.517 МККТТ, предусмотрен стык типа Z между АЛ и абонентским комплектом (АК).

АТС допускает применение следующих типов абонентских установок:

- телефонные аппараты с импульсным и тоновым набором номера;
- таксофоны местной телефонной связи с оплатой монетами или кредитными карточками с автономной тарификацией или централизованной тарификацией с переполусовкой проводов *a* и *b* или тарификационными импульсами 16 кГц;
- аппаратура передачи данных и факсимильной связи с установлением соединения в соответствии с телефонным алгоритмом;

– оборудование пожарной, гражданской, аварийной и другой сигнализации с подключением по абонентским линиям по стандартному Z-интерфейсу;

– ISDN - окончаний (2B+D), позволяющих использование систем видеотелефонии и другого терминального оборудования ISDN.

Индивидуальный для каждой АЛ абонентский комплект обеспечивает высокое качество передачи информации и выполняет стандартные функции BORSCHT:

– B (battery feed) - питание микрофона ТА;

– O (overvoltage protection) - защиту стационарного оборудования от напряжений в АЛ;

– R (ringing) - подключение к АЛ вызывного сигнала 25 ± 2 Гц с напряжением 95 ± 5 В и длительностью посылок и пауз $1 \pm 0,1$ с и $4 \pm 0,4$ с при местной или $1,2 \pm 0,12$ с и $2 \pm 0,2$ с при входящей междугородной связи;

– S (supervision) - контроль состояния АЛ и прием от абонента сигналов вызова, шлейфного набора номера и отбоя, - при этом правильное восприятие адресной информации гарантируется при частоте 7 ... 13 имп/с, импульсном коэффициенте 1,3 ... 1,9, межсерийном времени свыше 200 мс и предельных параметрах ААЛ;

– C (coding) - кодирование и декодирование и усиление сигналов;

– H (hybrid) - согласование 2-х проводной АЛ с 4-хпроводным каналом (дифсистема);

– T (testing) - подключение к АЛ измерителя параметров линии (ИПЛ), проверяющего сопротивление шлейфа и изоляции АЛ и наличие в АЛ посторонних напряжений.

Общая емкость аналоговых соединительных линий ЦАТС «М-200» набирается с помощью модулей МАСЛ. При этом модули могут быть сконфигурированы, как модули имеющие только аналоговые соединительные линии, так и смешанные, то есть имеющие и аналоговые абонентские и аналоговые соединительные линии.

Для подключения аналоговых соединительных линий и аналоговых абонентских линий используются ТЭЗы приведенные в таблице 3.

Таблица 3 - ТЭЗы применяемые для подключения аналоговых линий

С86 (К86)	Плата блока управления и коммутации с 2-мя контроллерами ИКМ-потоков
А16	Линейная плата на 16 аналоговых абонентских комплектов
А84	Линейная плата на 6 системных абонентских комплектов
И16	Линейная плата на 16 цифровых абонентских комплектов S-интерфейса
С88	Линейная плата на 8 2-х проводных СЛ и 8 абонентских комплектов
С68/4	Линейная плата на 12 4-х проводных универсальных РСЛ
С68/6	Линейная плата на 12 6-ти проводных универсальных РСЛ
В38	Линейная плата на 8 входящих (в т. ч. междугородних) 3-х проводных ФСЛ
И38	Линейная плата на 8 исходящих 3-х проводных ФСЛ

Количество аналоговых соединительных линий ограничено лишь пропускной способностью модуля соединительных линий МСЛ, которая равна 60 цифровым каналам. Поэтому установка более 64 аналоговых соединительных линий в МСЛ не желательна.

Комплектность лабораторной АТС «М-200» приведена в таблице 4.

Таблица 4 - Комплектность лабораторной АТС М-200

Тип	Наименование	Количество
Кассета 19”	Кассета 19’ 6U для установки линейных ТЭЗов	1
МАЛ-15	Кросс-плата для модуля аналоговых линий на 15 слото-мест	1
К86	Плата блока управления и коммутации с 2-мя контроллерами ИКМ-потоков	1
А16	Линейная плата на 16 аналоговых абонентских комплектов	1
А84	Линейная плата на 8 системных абонентских комплектов	1
С88	Линейная плата на 8 2-х проводных СЛ и 8 абонентских комплектов	1
И60	Плата И60 (источник питания)	1
	Плата МАЛ (модулей абонентских линий)	10

Изображение АТС «М-200» с пояснением блоков приведено на рисунке 14.

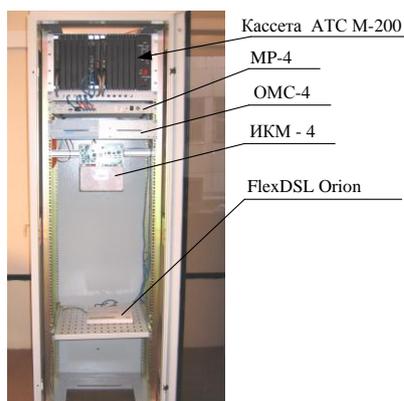


Рисунок 14 - Изображение АТС «М-200»

Состав АТС «М-200»:

- кассета АТС «М-200» – представляет собой конструктив для крепления кросс-платы и размещения плат;
- МР4 – полнодоступный коммутатор потоков на 4 потока Е1 (2048 кбит/с);
- ОМС-4 – оптический мультиплексор на 4 потока Е1 (2048 кбит/с);
- ИКМ-4 – аппаратура цифровой системы передачи для абонентского доступа по 4 стандартным цифровым каналам (64 кбит/с);
- FlexDSL Orion - цифровой модем стандарта FlexDSL, предназначенный для расширения возможностей медной пары.

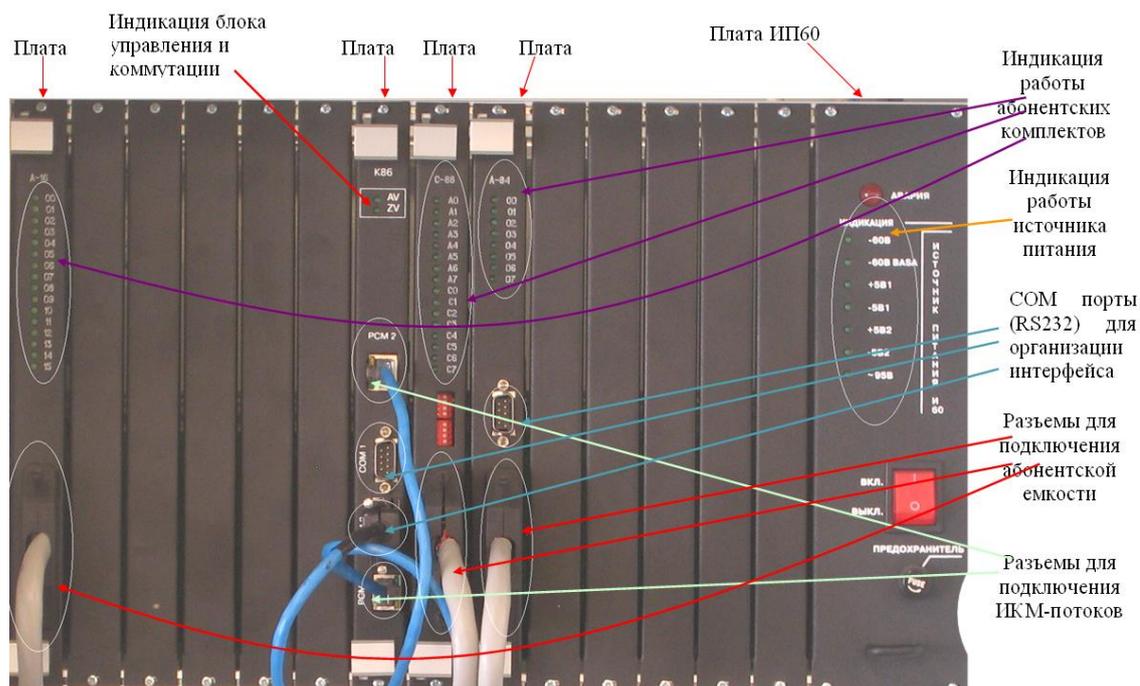


Рисунок 15 – Назначение и состав слотов АТС «М-200»

Задание к проведению лабораторной работы.

1. Ознакомиться с описанием системы «М-200» (назначение и характеристики).
2. Изучить конструктивное оформление системы «М-200».
3. Выполнить рисунок конструктивного оформления.
4. Изучить структурную схему АТС «М-200» (назначение блоков и модулей).
5. Исследовать назначение и состав слотов АТС «М-200».

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Основные технические характеристики АТС «М-200».
3. Структурная схема АТС «М-200» с пояснениями назначения основных узлов.
4. Назначение и состав слотов АТС «М-200».
5. Выводы по результатам исследований.
6. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Пояснить принцип распределенного управления.
2. Достоинства и недостатки модульного построения станции.
3. МАЛ - назначение и состав.
4. Назначение модуля оператора.
5. Какова ёмкость АТС «М200».
6. Чем определяется ёмкость АТС «М200».
7. Назовите стандартные функции В.О.Р.С.С.Н.Т.
8. Какие ИКМ - потоки организуются в действующей станции «М200».
9. Типы абонентов, подключаемые к АТС «М200».
10. Показать модули МАЛ на лабораторной станции «М200».
11. Назначение компьютеров, подключенных к станции.
12. Системы нумерации, используемые при построении сетей с АТС «М200».
13. Что такое цифровой канал.
14. Что понимается под конфигурированием АТС «М200».

15. Что понимается под мониторингом функционирования АТС.
16. Как строится коммутационное поле АТС «М200».
17. Назначение коммутатора «М200».
18. Виды связи, обеспечиваемые станцией «М200».
19. Как осуществляется сопряжение модулей АТС «М200».
20. Назначение модулей цифровой коммутации в АТС «М200».

5 Лабораторная работа № 5. Технология монтажа волоконно-оптической линии передачи для системы связи

Цель работы. Практическое ознакомление с технологией монтажа и приобретение навыков измерения потерь на временной оптической кабельной вставке (ВОКВ) при проведении аварийно-восстановительных работ (АВР) на ВОЛП.

Теоретическая справка.

АВР являются составной частью технического обслуживания линейно-кабельных сооружений (ЛКС) ВОЛП, проводимого на элементарном кабельном участке (ЭКУ).

АВР проводятся силами цехов линейно-кабельных сооружений (ЛКС) и линейно-технических цехов (ЛТЦ), а также аварийно-восстановительных бригад (АВБ) эксплуатационного предприятия (ЭП).

Восстановление линий передачи при аварийных повреждениях обеспечивается:

- организацией *временной* *схемы* восстановления линии передачи с последующим переходом на постоянную схему;
- организацией *постоянной* *схемы* восстановления линии передачи на участке повреждения.

Восстановление линии передачи *по временной схеме* организуется во всех случаях, когда ожидаемое время организации постоянной схемы восстановления

превышает установленный норматив.

Постоянная схема восстановления линии передачи организуется:

– после организации временной схемы восстановления передачи;

– в случае видимого, локального повреждения кабеля, когда обеспечивается норма времени восстановления линии передачи без предварительной организации временной схемы восстановления.

Последовательность и расчетные сроки различных операций и этапов АВР регламентируются технологической картой (ТК) [11].

При разработке и утверждении ТК необходимо исходить из того, что время на восстановление ЛКС с устройством временной кабельной вставки на линиях с *оптическим кабелем* (ОК) не должно превышать 10 ч без учета времени переезда.

ТК на АВР состоит из разделов, регламентирующих область применения, организацию и технологию работ, технико-экономические показатели (время восстановления связи, время окончательного устранения аварии и трудоемкость устранения аварии), и оговаривает применение материально-технических ресурсов. Структура типовой ТК приведена на рисунке 16.

Оптические кабельные вставки. Для устранения повреждения ВОЛП при проведении АВР применяются оптические кабельные вставки.

Оптические кабельные вставки по назначению подразделяются на постоянные оптические кабельные вставки (ПОКВ) и временные (ВОКВ).

ПОКВ предназначены для организации *постоянной схемы* восстановления линии передачи ВОЛП.

Для ПОКВ, как правило, используется ОК той же марки и емкости, что и поврежденный линейный кабель. Длина ПОКВ должна составлять не менее 50 м.

ВОКВ используются для организации *временной схемы* восстановления ВОЛП. В зависимости от вида повреждения оптического кабеля восстановление его по временной схеме осуществляется с помощью одно- или многоэлементных ВОКВ (классифицируемых по числу отрезков ОК, составляющих ВОКВ) [11].

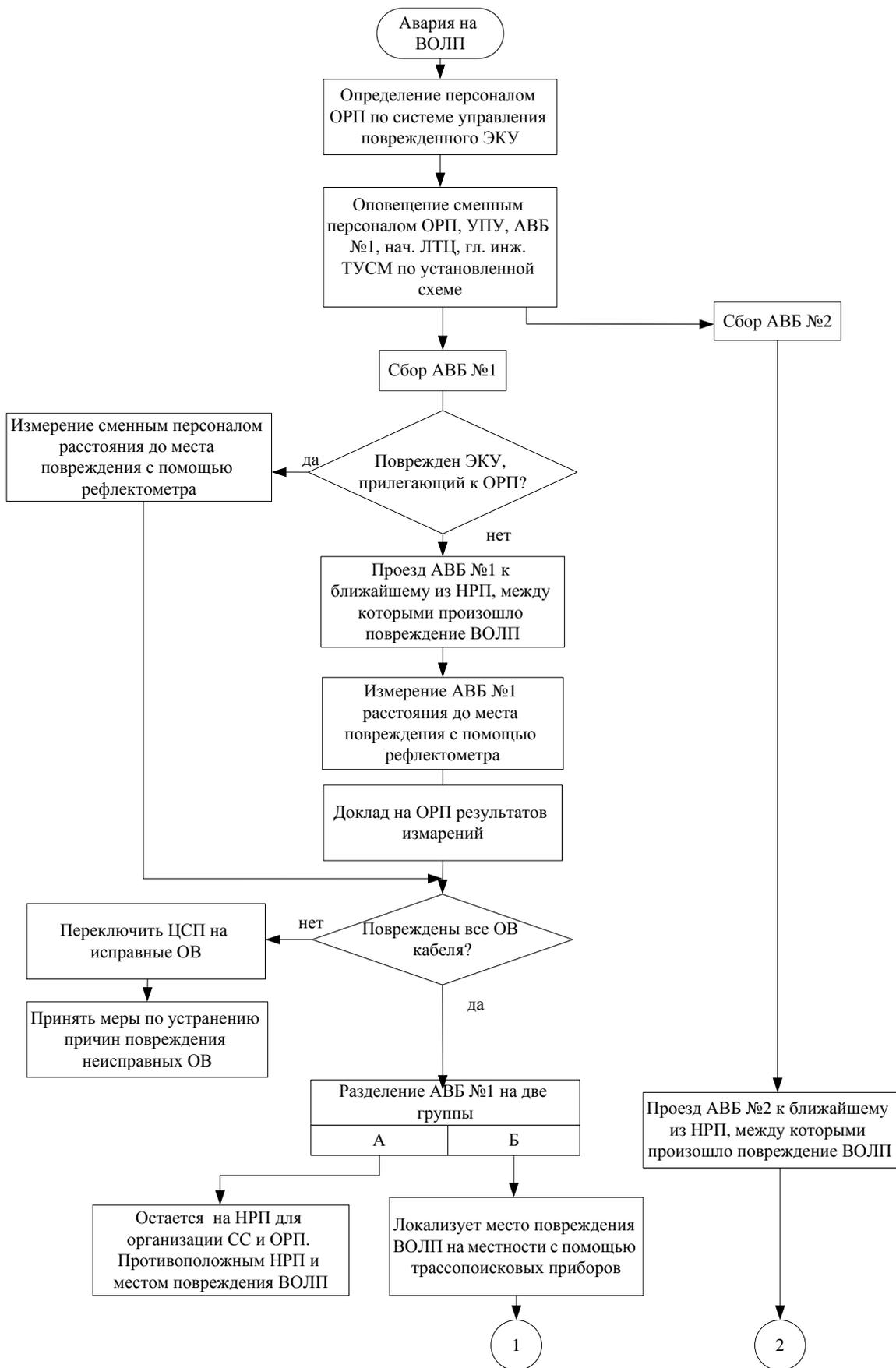


Рисунок 16 - Структура типовой технологической карты

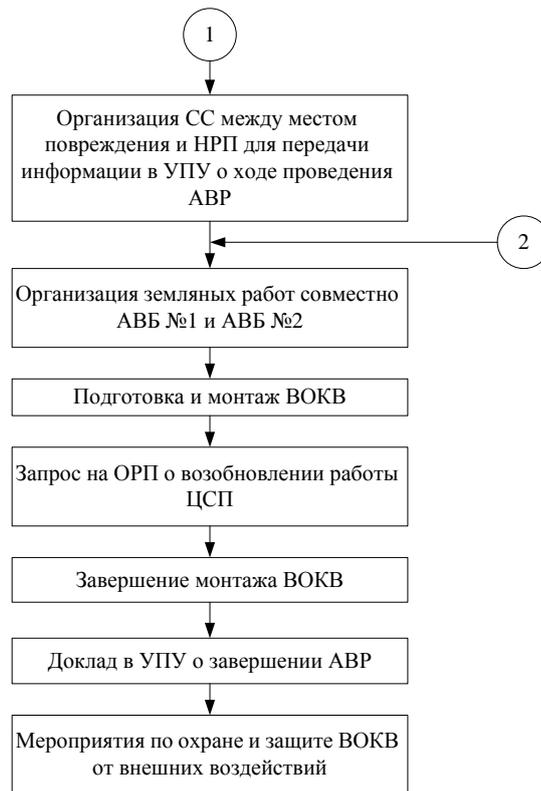


Рисунок 16 - Структура типовой технологической карты (продолжение)

Одноэлементная ВОКВ (ВОКВО) организуется в случае локального механического повреждения ОК, когда место повреждения можно определить визуальным путем, но монтаж постоянной вставки не может быть выполнен в нормативные сроки [11].

ВОКВО представляет собой отрезок ОК из эксплуатационного запаса для данной линии, концы которого подготовлены для монтажа с поврежденным линейным кабелем.

Это существенно упрощает переход от временной схемы организации связи к постоянной и сокращает время такого перехода.

Для ВОКВО может быть также использован специальный малогабаритный ОК длиной около 50 м (что достаточно при устранении локальных повреждений линейного ОК). В случае протяженного участка повреждений линейного ОК может быть также использована ВОКВО протяженностью вплоть до строительной длины линейного ОК.

Соединение ОВ поврежденного ОК и кабеля ВОКВО осуществляется с помощью механических соединителей или же сваркой ОВ.

Многоэлементная ВОКВ (ВОКВМ) организуется, когда:

– повреждение носит локальный и скрытый характер, т.е. его нельзя определить визуально, и время на определение места повреждения и устранение аварии превышает норму на восстановление ОК по постоянной схеме;

– повреждение ОК имеет значительную протяженность (от 200 м до 7 км) или имеется несколько повреждений одной или нескольких соседних строительных длин [11].

Для оперативного перекрытия протяженных участков повреждений линейного ОК наиболее целесообразно использовать ВОКВМ, конструктивные особенности которых должны обеспечивать развертывание ОК ВОКВМ ручным способом, без необходимости применения специальных механизмов.

Общие технические требования к ВОКВ.

Суммарное затухание ЭКУ при применении любого типа ВОКВ, смонтированной на поврежденном ОК, должно составлять от 2 до 6 дБ рекомендуемого диапазона энергетического запаса согласно.

При локальном повреждении линейного ОК длина кабеля вставки должна составлять не менее 50 м. Данная величина определяется длиной демонтируемой части поврежденного ОК (по 10 м в обе стороны от места обрыва ОК с целью обеспечения гарантии целостности волокон ОК) и длиной откапываемых концов ОК (по 15 м, обеспечивающих их извлечение из траншеи и выполнение монтажа).

При наличии нескольких повреждений в пределах строительной длины линейного ОК требуется значительная длина кабеля ВОКВ. Это вызывает существенное увеличение массы ОК и габаритов кабельного барабана и, тем самым, предопределяет только механизированную прокладку кабеля ВОКВ. В этом случае оперативное развертывание одноэлементной ВОКВ возможно лишь при расположении кабельной трассы вдоль автомобильных дорог.

Для оперативного перекрытия протяженных участков поврежденного линейного ОК наиболее целесообразно использовать многоэлементные ВОКВ,

конструктивные особенности которых должны обеспечивать развертывание ОК ВОКВ ручным способом [11].

При этом должны быть выполнены следующие требования:

– оптический кабель ВОКВМ должен иметь малые габаритные размеры и массу, удовлетворять необходимым оптическим, механическим и климатическим требованиям, обеспечивать многократную перемотку и т.д.;

– длина отрезков ОК не должна превышать 1100 м;

– масса барабана с кабелем должна быть не более 60 кг;

– должна быть обеспечена возможность перемещения барабанов и размоток ОК как со специальных тележек, так и вручную;

– должна быть обеспечена оперативность монтажа ВОКВМ;

– должна быть обеспечена необходимая временная защита от внешних механических повреждений, пыли и влаги мест соединений отдельных отрезков ОК ВОКВМ.

Соединение оптических волокон поврежденного ОК с ОВ любых типов ВОКВ должно выполняться с помощью механических соединителей или сваркой ОВ.

Защита мест соединений линейного кабеля и кабелей вставки (ПОКВ и ВОКВ) должна осуществляться посредством линейных разветвительных муфт с числом вводов не менее трех.

ВОКВ должны комплектоваться необходимым специализированным монтажным инструментом, а также необходимой технической документацией [11].

Технология сращивания оптических волокон механическими соединителями Fibrlok 2900.

Универсальный механический соединитель Fibrlok 2900 предназначен для сращивания одномодовых и многомодовых ОВ с диаметром оболочки 125 мкм. Корпус соединителя имеет серую окраску. На корпус нанесена маркировка 3М Fibrlok. Общий вид соединителя приведен на рисунке 17.

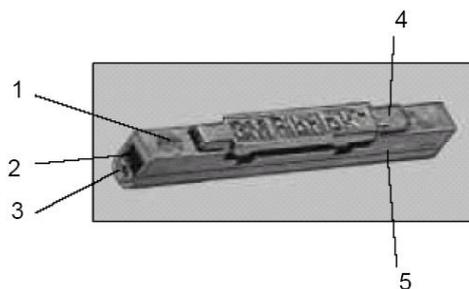


Рисунок 17 - Вид механического соединителя Fibrlok

В состав механического соединителя Fibrlok входит:

- знак, обозначающий размеры защитного покрытия ОВ (1/4 окружности – для диаметра 250 мкм и полная окружность для диаметра 900 мкм);
- торец корпуса соединителя;
- порт для ввода ОВ;
- крышка;
- корпус.

Соединение волокон в механическом соединителе 3М Fibrlok-2900 выполняется на монтажном столике, внешний вид которого представлен на рисунке 18.

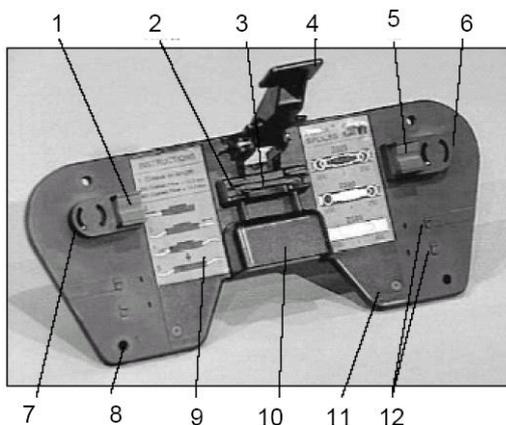


Рисунок 18 - Монтажный столик

В состав монтажного столика входят следующие элементы:

- 1, 5 - мягкая прокладка для фиксации волокон;
- направляющая канавка для юстировки ОВ;
- место установки соединителя;

- пресс;
- 6, 7 – поворотный фиксатор;
- крепежные отверстия;
- краткая инструкция;
- подставка для пальцев;
- основание;
- риски для проверки длины скола волокна.

Порядок сращивания оптических волокон механическими соединителями Fibrlok-2900.

1. Извлеките соединитель из упаковки и установите его в монтажном столике, не касаясь при этом крышки, нажимая на концы корпуса, как показано на рисунке 19.

2. Снимите защитное покрытие с ОВ на длине около 25 – 51 мм (рисунок 20).

Произведите скол волокна на длине 12.5 мм от защитного покрытия при его диаметре 250 мкм или 14 мм при диаметре защитного покрытия 900 мкм. При необходимости выполнить проверку длины скола с помощью прецизионных риск 12. Торце ОВ должен находиться внутри риски, как показано на рисунке 21.

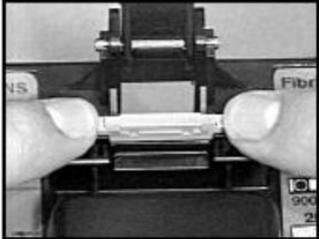
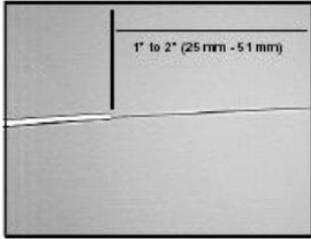
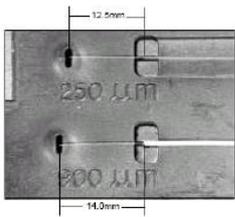
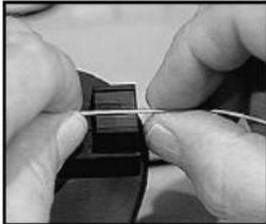
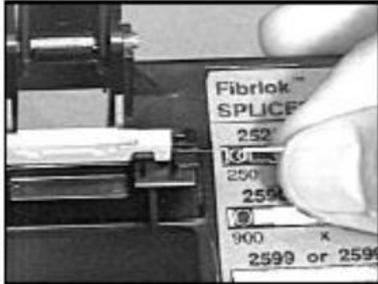
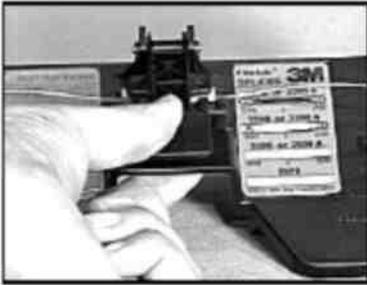
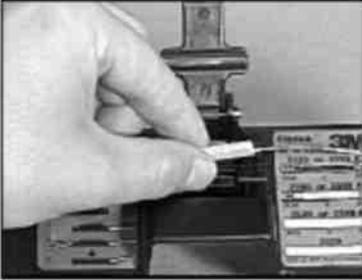
3. Установите ОВ в фиксатор в монтажном столике (рисунок 22).

5. Возьмите ОВ за защитное покрытие на расстоянии примерно 6мм от конца покрытия и введите ОВ по направляющим в порт до упора с небольшим изгибом радиусом не более 3 мм (рисунок 23).

Повторите пункты 2 - 5 для второго образца ОВ. Убедитесь, что второе ОВ упирается в торец первого и соединяемые ОВ имеют одинаковые радиусы изгибов на вводе в соединитель (рисунок 24).

6. Закройте соединитель, плавно опустив пресс на крышку соединителя до характерного щелчка (рисунок 25).

7. Аккуратно извлеките соединитель из монтажного столика, сначала освободив ОВ из фиксатора, затем корпус соединителя из монтажного столика (рисунок 26).

	
<p>Рисунок 19</p>	<p>Рисунок 20</p>
	
<p>Рисунок 21</p>	<p>Рисунок 22</p>
	
<p>Рисунок 23</p>	<p>Рисунок 24</p>
	
<p>Рисунок 25</p>	<p>Рисунок 26</p>

Подготовка к работе.

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.
2. Изучить теоретический материал по технологии проведения АВР на ВОЛП.
3. Изучить порядок выполнения лабораторной работы.
4. По приложению 2 изучить порядок выполнения монтажа механических соединителей.

5. Подготовить бланки протоколов измерений.

Инструменты и оборудование для выполнения работы показаны на рисунке 27.



Рисунок 27 - Инструменты и оборудование для выполнения работы

Порядок выполнения работы.

1. Соберите макет ВОЛП.

1.1. Соедините неоконцованные концы ОВ катушек механическим соединителем (порядок монтажа механического соединителя описан в приложении 1).

1.2. Подключите оконцованную с одной стороны пиг-тэйлом катушку с измеряемым ОВ к источнику оптического излучения в соответствии со схемой (рисунок 1).

1.3 Подключите вторую катушку с ОВ, оконцованную пигтеэлом, к измерителю оптической мощности в соответствии со схемой (рисунок 28).

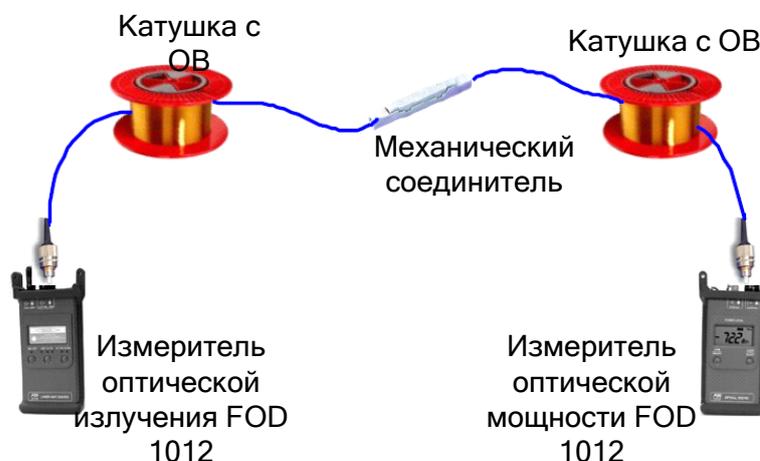


Рисунок 28 - Схема измерения потерь на ВОЛП без повреждений

1.4. При подключении ОВ к источнику оптического излучения и к измерителю оптической мощности предварительно протрите оптический коннектор пигтэйла безворсовой салфеткой, смоченной небольшим количеством изопропилового спирта.

Для подключения разъема типа FC/PC совместите ключ на коннекторе с пазом на оптическом адаптере, зафиксируйте круглой накладной гайкой.



Рисунок 29 - Подключение ОВ к источнику оптического излучения

2. Выполните измерения потерь на ВОЛП без повреждений на длине волны 1550 нм.

2.1. Включите источник излучения и выберите требуемую длину волны излучения (1550 нм).

2.2. Включите измеритель оптической мощности и выберите ту же длину волны (1550 нм) нажатием на клавишу SET.

2.3. Прогрейте источник и приемник излучения в течение 5 - 10 мин.

2.4. Запишите показание на дисплее измерителя оптической мощности ($P_{\text{вых}}$, дБ).

2.5. Измерение $P_{\text{вых}}$ повторите 3 раза. При этом должна наблюдаться стабильность результатов измерений. В случае, когда имеется существенное (более 5 %) отклонение результата измерений от других измерений этой же серии, необходимо отбросить такой результат и повторить измерение

3. Выключите источник оптического излучения и измеритель оптической мощности.

Создайте повреждение на ВОЛП, демонтировав механический соединитель (рисунок 30).

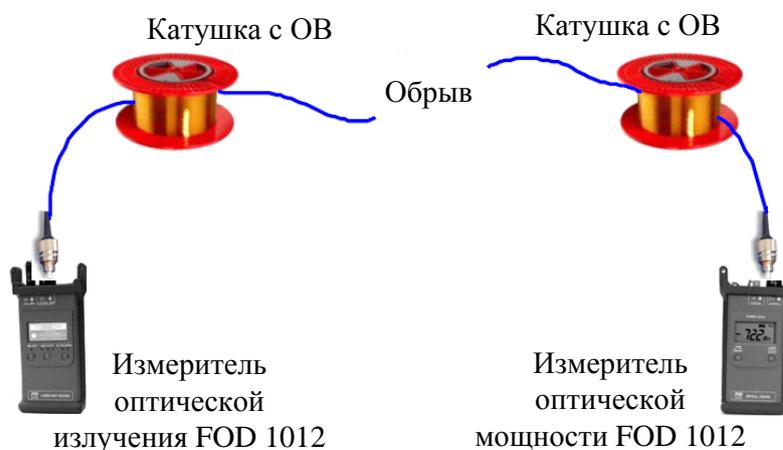


Рисунок 30 - Схема внесения обрыва

5 Произведите монтаж ВОКВ по схеме (рисунок 31).

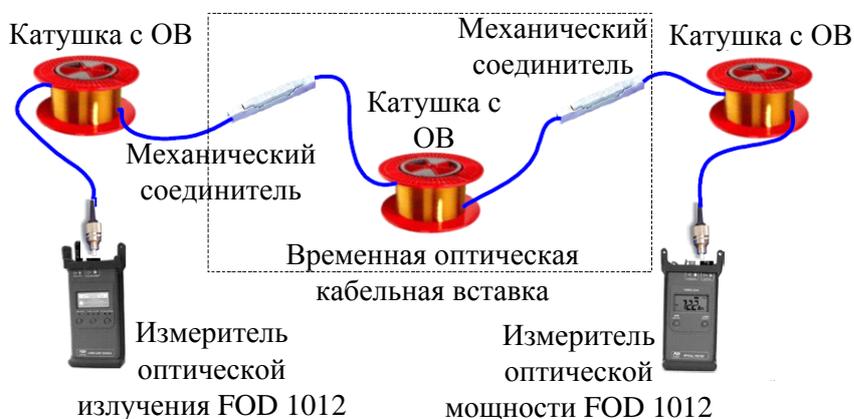


Рисунок 31 - Схема монтажа ВОКВ при АВР на ВОЛП

6. Выполните измерения потерь на ВОЛП с ВОКВ $P'_{вых}$ на длине волны 1550 нм в порядке, описанном в п.п. 2.1. - 2.5.

7. Усредните результаты измерений $\bar{P}'_{вых}$.

8. Рассчитайте потери на ВОКВ по формуле:

$$A = P'_{вых} - P_{вых}, \text{ дБ.} \quad (7)$$

9. Сравните полученное значение A со значением эксплуатационного запаса на ОК (3 дБ).

10. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 5.

Таблица 5 - Результаты измерений

№ измерения	Значение		
	$P_{вых}$, дБ	$P'_{вых}$, дБ	A , дБ
1			
2			
3			
4			
5			
Среднее значение			

11. Сделайте вывод о качестве монтажа ВОКВ (в случае если $A > 3$ дБ, необходимо выполнить повторный монтаж).

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Основные теоретические сведения.
3. Этапы проведения лабораторной работы.
4. Схемы монтажа на ВОКВ при АВР на ВОЛП.
5. Результаты измерений.
6. Выводы по выполненной работе.
7. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение АВР. Кто осуществляет руководство АВР? Кто принимает участие в выполнении АВР?
2. Какие применяются схемы восстановления линий передачи при АВР?
3. В каких случаях при АВР применяют временную схему и когда используют постоянную схему восстановления линии?
4. Какое время отводится на восстановление линейно-кабельных сооружений с ОК и устройством временной кабельной вставки?
5. Приведите структурную схему типовой технологической карты на

выполнение АВР.

6. Перечислите виды оптических кабельных вставок, дайте определения и условия применения.

7. Какой кабель используется для организации ВОКВ?

8. Дайте определение и условия применения одноэлементной и многоэлементной ВОКВ.

9. Какие технические требования предъявляются к ВОКВ?

10. Перечислите порядок выполнения лабораторной работы и схемы измерения потерь, вносимых ВОКВ.

6 Лабораторная работа № 6. Построение сети связи с использованием технологии FDDI

Цель работы. Получить навыки выбора оборудования, кабельной системы для построения инфраструктуры сети связи уровня предприятия на основе технологии FDDI.

Теоретическая справка.

Стандарт FDDI определяет сеть со скоростью передачи данных 100 Мб/с, с двойным кольцом и передачей маркера. Трафик по двойному кольцу движется в противоположных направлениях. В физическом выражении кольцо состоит из двух или более двухточечных соединений между смежными станциями. Одно из двух колец FDDI называется первичным кольцом, другое - вторичным кольцом. Первичное кольцо используется для передачи данных, в то время как вторичное кольцо обычно является дублирующим.

В качестве среды передачи используется волоконно-оптический кабель. Оптоволокно обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с более широко применяемыми медными проводниками, включая защиту данных (не излучает электрические сигналы, которые можно перехватывать), надежность (устойчиво к

электрическим помехам) и скорость (потенциальная пропускная способность намного выше, чем у медного кабеля). Стандарт FDDI определяет два типа используемого оптического волокна - одномодовое (иногда называемое мономодовым) и многомодовое. Моды – это световая волна, входящая в оптическое волокно под определенным углом. Одномодовое волокно позволяет распространяться через оптическое волокно только одной моде, в то время как многомодовое одновременно несколькими. Так как множество мод света, распространяющихся по оптическому кабелю, могут проходить различные расстояния (в зависимости от угла входа), и, следовательно, достигать пункт назначения в разное время (явление, называемое модальной дисперсией), одномодовый световод способен обеспечивать большую пропускную способность и передачу сигнала на большие расстояния, чем многомодовые световоды. Благодаря этим характеристикам одномодовые световоды часто используются в качестве основы крупномасштабных сетей, в то время как многомодовый световод часто используется в сетях уровня рабочих групп. В многомодовом световоде в качестве генераторов света используются диоды, излучающие свет (LED), в то время как в одномодовом световоде обычно применяются лазеры.

Следует отметить, что существует также стандарт, именуемый CDDI (*Copper Distributed Data Interface*) или TPDDI (*Twisted-Pair Distributed Data Interface*), аналогичный FDDI, но определяющий в качестве среды передачи витую пару.

Основные характеристики сети FDDI приведены в таблице 6 [2, 11].

Таблица 6 - Основные характеристики сети FDDI

Характеристики	FDDI	CDDI
1	2	3
Скорость передачи данных, Мб/с	100	100
Количество станций в кольце	500	250
Физическая топология	Смешанная (кольцевая, древовидная)	Древовидная
Тип среды передачи	Оптоволокно	Витая пара (STP Type 1, UTP cat 5)

Продолжение таблицы 6

1	2	3
Максимальное расстояние между	2000	200
Метод доступа к среде передачи	Маркерный	Маркерный
Способ кодирования	4B/5B	4B/5B

Особенности физического уровня стандарта FDDI.

Отличительной чертой сетей FDDI является использование устройств с различным типом подключения к физической среде передачи:

- станции с одиночным подключением (Single-attachment station, SAS);
- станции с двойным подключением (Dual-attachment station, DAS);
- концентраторы.

Станции с одиночным подключением подсоединяются только к одному (первичному) кольцу посредством концентратора. Преимуществом такого способа подключения станции к сети является то, что состояние станции не влияет на работу всего кольца, даже при физическом отключении от среды или выключении питания.

Станции с двойным подключением содержат два порта, именуемые А и В, и обеспечивающие соединение с первичным и вторичным кольцом. Как далее будет показано, станции с двойным подключением определяют структуру двойного кольца и влияют на работоспособность всей сети [2].

Таким образом, сети, использующие технологию FDDI, отличаются следующими важными свойствами:

- высокая степень отказоустойчивости;
- большая протяженность;
- высокая скорость передачи данных;
- гибкий механизм распределения пропускной способности сети и назначения приоритетов станциям;
- возможность максимального использования пропускной способности сети.

Задание к проведению лабораторной работы.

1. Используя пакет NetCracker, изучить состав и функциональные характеристики типового оборудования сетей связи на основе технологии FDDI.

2. В соответствии с вариантом задания построить сеть предприятия с использованием технологии FDDI.

3. Для полученной модели сети задать необходимые типы потоков данных между рабочими станциями и серверами и произвести имитационное моделирование работы сети.

4. Проанализировать среднюю загрузку сетевого оборудования и среды передачи данных и время ответа для потока данных. Указать участки сети, уязвимые к перегрузкам, и определить средства повышения надежности функционирования сети.

Таблица 7 - Тип инфраструктуры

№ варианта	Количество зданий	Расстояние между зданиями	Количество этажей	Количество комнат на
1	2	300	4	3
2	2	250	3	4
3	3	200	3	5
4	3	150	2	6
5	2	200	4	3
6	2	150	2	4
7	3	400	4	5
8	3	450	3	6
9	2	300	4	3
10	2	450	3	4
11	3	350	3	5
12	3	550	2	6
13	2	500	4	3
14	2	650	2	4
15	3	250	4	5

Таблица 8 - Тип моделируемого трафика

№ варианта	Количество файловых серверов	Количество HTTP-серверов	Количество FTP-серверов	Количество серверов баз данных
1	2	3	4	5
1	3	1	2	2

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5
2	3	2	1	2
3	2	1	2	3
4	2	2	2	3
5	3	2	2	2
6	3	1	1	3
7	2	2	1	3
8	3	2	2	3
9	2	2	1	3
10	2	1	2	2
11	3	2	2	3
12	3	1	2	3
13	2	1	1	3
14	3	2	2	2
15	2	2	1	3

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные.
3. Характеристики типового оборудования сети связи на основе технологии FDDI.

4. Схема сети предприятия с использованием технологий FDDI.

5. Логическая схема сети.

6. Расчеты параметров сети связи.

7. Обосновать принятые инженерные решения.

8. Выводы по выполненной работе.

9. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Краткая характеристика технологии FDDI.

2. Особенности сетей стандарта FDDI.

3. Средства структуризации сетей на базе стандарта FDDI.

4. Типы оборудования сетей FDDI.

5. Средства обеспечения отказоустойчивости в сети FDDI.

7 Лабораторная работа № 7. Построение корпоративной сети связи с использованием средств доступа к региональным сетям

Цель работы. Получить навыки выбора оборудования, кабельной системы для построения инфраструктуры региональной сети связи уровня предприятия с использованием средств удаленного доступа и средств доступа к региональным сетям.

Теоретическая справка.

Корпоративная сеть объединяет локальные сети всех структурных подразделений предприятия, в том числе удаленных от центрального отделения на значительные расстояния, которые не под силу покрыть большинству используемых сегодня технологий локальных сетей. Поэтому при организации корпоративной сети зачастую необходимо решать задачу связи удаленных подразделений с использованием региональных сетей, называемых также территориальными.

Территориальные транспортные средства, используемые для построения корпоративной сети, принято делить на две большие категории – магистральные средства и средства удаленного доступа.

Магистральные средства используются для образования одноранговых связей между крупными локальными сетями, принадлежащими большим подразделениям предприятия. Магистральные региональные сети должны обеспечивать высокую пропускную способность, так как на магистрали объединяются потоки данных большого количества подсетей. Кроме того, магистральные сети должны быть постоянно доступны, то есть поддерживать очень высокий коэффициент готовности, так как по ним передается трафик многих критических для успешной работы предприятия приложений. Ввиду особой важности магистральных средств их высокая стоимость переходит на второй план. Так как у предприятия обычно имеется не так уж много крупных сетей, то к магистральным средствам не предъявляются требования поддержания разветвленной инфраструктуры доступа. Обычно в качестве магистральных средств

используются цифровые выделенные каналы со скоростями от 2 Мб/с до 622 Мб/с, сети с коммутацией пакетов X.25, Frame Relay, АТМ [2].

Средства удаленного доступа обеспечивают связь небольших локальных сетей и отдельных узлов с центральной локальной сетью предприятия. В качестве отдельных удаленных узлов также могут выступать банкоматы или кассовые аппараты, требующие доступ к центральной базе данных о легальных клиентах банка, пластиковые карточки которых необходимо авторизовать на месте. Банкоматы или кассовые аппараты обычно рассчитаны на взаимодействие с центральным компьютером по сети X.25, которая в свое время специально разрабатывалась как сеть для удаленного доступа неинтеллектуального терминального оборудования к центральному компьютеру.

В качестве транспортных средств удаленного доступа используются телефонные аналоговые сети, сети ISDN и реже – сети Frame Relay. Качественный скачок в расширении возможностей удаленного доступа произошел в связи со стремительным ростом популярности и распространенности сети Internet. Транспортные услуги Internet дешевле, чем услуги междугородных и международных телефонных сетей, а их качество быстро улучшается.

Типы региональных сетей.

Сеть строится на основе некоммутируемых каналов связи, которые соединяются между собой коммутаторами S глобальной сети. Приведенная структура характерна как для магистральных сетей типа АТМ или Frame Relay, так и для сетей, используемых для удаленного доступа – аналоговых телефонных сетей, сетей ISDN или первичных цифровых сетей PDH/SDH. Все эти сети можно разделить на три класса по способу коммутации, применяемому в коммутаторах.

Сети с постоянной коммутацией каналов, в которых абоненты сети не могут инициировать коммутацию соединений между собой – каналы между абонентами коммутируются на постоянной основе оператором сети. Эти сети обеспечивают *выделенные (dedicated или leased)* каналы, так как для пользователя коммутаторы сети не видны и сеть представляется каналом "точка – точка". Эти сети делятся на два подкласса – аналоговые и цифровые, в зависимости от типа техники

мультиплексирования и коммутации каналов. *Аналоговые* сети используют мультиплексирование с частотным разделением каналов (Frequency Division Multiplexing, FDM), а *цифровые* – мультиплексирование с временным разделением каналов (Time Division Multiplexing, TDM). В свою очередь цифровые первичные сети подразделяются на сети, использующие аппаратуру и протоколы технологии PDH со скоростями каналов от 64 Кб/с до 45 Мб/с, и сети, построенные на основе аппаратуры и протоколов технологии SONET/SDH со скоростями каналов от 51 Мб/с до 2.4 Гб/с.

Сети с коммутацией каналов позволяют абонентам сети динамически инициировать установление соединений друг с другом (телефонные сети). Выделяют аналоговые сети, использующие мультиплексирование с частотным разделением каналов (FDM), и цифровые, использующие мультиплексирование с временным разделением каналов (TDM). Наиболее распространенным типом цифровых телефонных сетей являются сети ISDN.

Сети с коммутацией пакетов, в которых коммутаторы оперируют пакетами пользовательских данных. К сетям этого типа относятся все сети, разработанные для передачи данных – X.25, Frame Relay, АТМ (последний тип предназначен в равной степени как для передачи компьютерных данных, так и для передачи голоса и любых других видов мультимедийного трафика) [2].

Типы устройств доступа к региональным сетям.

Независимо от типа коммутации, используемого в региональной сети, а также от того, используются ли в сети магистральные средства или средства удаленного доступа, все абоненты сети присоединяются к ней с помощью оборудования доступа (Access Devices), которое позволяет согласовать протоколы и интерфейсы локальных сетей с протоколами и интерфейсами региональной сети. Обычно в глобальной сети строго описан и стандартизован интерфейс взаимодействия пользователей с сетью (User Network Interface, UNI). Это необходимо для того, чтобы пользователи могли без проблем подключаться к сети с помощью коммуникационного оборудования любого производителя, который соблюдает стандарт UNI.

Устройство доступа поддерживает на входе интерфейс локальной сети, а на выходе - требуемый интерфейс UNI. Интерфейс между локальной и глобальной сетями может быть реализован устройствами разных типов. В первую очередь эти устройства делятся на:

- аппаратуру передачи данных (Data Circuit-terminating Equipment, DCE);
- оконечное оборудование данных (Data Terminal Equipment, DTE) [2].

Устройства DCE представляют собой аппаратуру передачи данных по региональным каналам, работающую на физическом уровне. Устройства этого типа имеют выходные интерфейсы физического уровня, согласованные с региональным каналом передачи данных. Различают аппаратуру передачи данных по аналоговым и цифровым каналам. Для передачи данных по аналоговым каналам применяются модемы различных стандартов, а по цифровым - устройства DSU/CSU.

DTE - это очень широкий класс устройств, которые непосредственно готовят данные для передачи по глобальной сети. DTE представляют собой устройства, работающие на границе между локальными и глобальными сетями и выполняющие протоколы уровней более высоких, чем физический. DTE могут поддерживать только канальные протоколы - такими устройствами являются удаленные мосты, либо протоколы канального и сетевого уровней - такими устройствами являются маршрутизаторами, либо протоколы всех уровней, включая прикладной, - такими устройствами являются шлюзы [2].

Связь компьютера или маршрутизатора с цифровой выделенной линией осуществляется с помощью пары устройств, обычно выполненных в одном корпусе или же совмещенных с маршрутизатором. Этими устройствами являются *устройство обслуживания данных и устройство обслуживания канала* (соответственно Data Service Unit, DSU и Channel Service Unit, CSU). Устройство обслуживания данных DSU преобразует сигналы, поступающие от оконечного оборудования данных DTE (обычно по интерфейсу RS-232 или HSSI), в биполярные импульсы интерфейса G.703. Устройство обслуживания канала CSU также выполняет все временные отсчеты, регенерацию сигнала и выравнивание загрузки канала. CSU выполняет более узкие функции, в основном оно занимается созданием

оптимальных условий передачи в линии (выравнивание). Эти устройства, как и модуляторы-демодуляторы, часто обозначаются DSU/CSU [2].

Серверы удаленного доступа, удаленного управления и терминальные серверы.

Существует особый класс устройств, предназначенных для связи удаленных узлов в том случае, когда к сети нужно подключить не другую сеть, а автономный компьютер. В таких случаях в центральной сети устанавливается сервер удаленного доступа, который обслуживает доступ к сети большого числа разрозненных компьютеров.

Обычно, сервер удаленного доступа служит для подключения удаленных клиентов по телефонным сетям – аналоговом или ISDN, так как это наиболее распространенные и повсеместно доступные сети.

Серверы удаленного доступа обычно имеют большое количество портов для поддержки модемного пула, соединяющего сервер с телефонной городской сетью. Серверы удаленного доступа подразделяются на серверы удаленных узлов, серверы удаленного управления и терминальные серверы.

Серверы удаленных узлов предоставляют своим клиентам только транспортные услуги, обеспечивая соединение с центральной сетью по протоколам сетевого уровня. В сущности, они выполняют в этом случае роль маршрутизаторов или шлюзов, ориентированных на низкоскоростные модемные соединения.

Серверы удаленного управления, кроме обеспечения транспортного соединения, выполняют и некоторые дополнительные функции – запускают от имени своих удаленных клиентов приложения на компьютерах центральной сети и эмулируют на экране удаленного компьютера графическую среду этого приложения. Обычно, серверы удаленного управления ориентируются на среду операционных систем персональных компьютеров, например, Windows. Терминальные серверы выполняют похожие функции, но для многотерминальных операционных систем, подобно Unix [2].

Задание к проведению лабораторной работы.

1. Используя пакет NetCracker, изучить состав и функциональные

характеристики средств удаленного доступа и средств доступа к региональным сетям.

2. В соответствии с вариантом задания построить сеть предприятия с использованием средств удаленного доступа и средств доступа к региональным сетям, обеспечив резервирование основных каналов передачи данных.

3. Для полученной модели сети задать необходимые типы потоков данных между рабочими станциями и серверами и произвести имитационное моделирование работы сети.

4. Проанализировать среднюю загрузку сетевого коммуникационного оборудования и среды передачи данных и время ответа для потока данных. Указать участки сети, уязвимые к перегрузкам, и определить средства повышения надежности функционирования сети.

Таблица 9 - Варианты заданий

№ варианта	Тип инфраструктуры	Тип трафика
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	1
5	1	3
6	2	4
7	3	1
8	4	2
9	1	4
10	2	1
11	3	2
12	4	3
13	1	1
14	2	2
15	3	3
16	4	4

Таблица 10 - Тип инфраструктуры

№ варианта	Количество городов	Количество подразделений предприятия в городах
1	2	4
2	2	3
3	3	3
4	3	2

Таблица 11 - Тип моделируемого трафика

№ варианта	Количество файловых серверов	Количество HTTP-серверов	Количество FTP-серверов	Количество серверов баз данных
1	3	1	2	2
2	3	2	1	2
3	2	1	2	3
4	2	2	1	3

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные.
3. Характеристики типового оборудования сети связи.
4. Схема сети предприятия.
5. Логическая схема сети.
6. Расчеты параметров сети связи.
7. Обосновать принятые инженерные решения.
8. Выводы по выполненной работе.
9. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Классификация средств доступа к региональным сетям.
2. Основные типы региональных сетей.
3. Особенности сетей X.25 и Frame Relay.
4. Оконечное оборудование данных, его функциональное назначение.
5. Аппаратура передачи данных, ее функциональное назначение.

8 Лабораторная работа № 8. Построение канала связи с использованием ВОЛС

Цель работы. Разработка и расчет информационных каналов связи на базе ВОЛС.

Задание к проведению лабораторной работы.

1. Провести выбор оборудования и линейных сооружений ВОЛС.
2. Разработать схему прокладки оптического кабеля (канализация или подвес на опорах).
3. Провести расчеты канала передачи данных, числа оптических волокон в оптоволоконном кабеле и энергетического баланса;
4. Представить технические решения по организации вводов оптического кабеля в здания и монтажа оконечных устройств.

Варианты заданий для лабораторной работы представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Варианты заданий

№ вар.	Объект № 1 (точка X1)	Объект № 2 (точка X2)	№ вар.	Объект № 1 (точка X1)	Объект № 2 (точка X2)
1	«Оренсот»	ТК «Максимум»	9	«Уфанет»	ТК «Оренбург»
2	«Оренсот»	ТК «Армада»	10	«Билайн»	ТК «Максимум»
3	«Оренсот»	ТК «Оренбург»	11	«Билайн»	ТК «Армада»
4	«ВолгаТелеКом»	ТК «Максимум»	12	«Билайн»	ТК «Оренбург»
5	«ВолгаТелеКом»	ТК «Армада»	13	«Мегафон»	ТК «Максимум»
6	«ВолгаТелеКом»	ТК «Оренбург»	14	«Мегафон»	ТК «Армада»
7	«Уфанет»	ТК «Максимум»	15	«Мегафон»	ТК «Оренбург»
8	«Уфанет»	ТК «Армада»	16	«Мегафон»	ТК «Север»

Пример выполнения лабораторной работы.

Схема прокладки волоконно-оптического кабеля.

Схема прокладки волоконно-оптического кабеля представлена на рисунке 32.

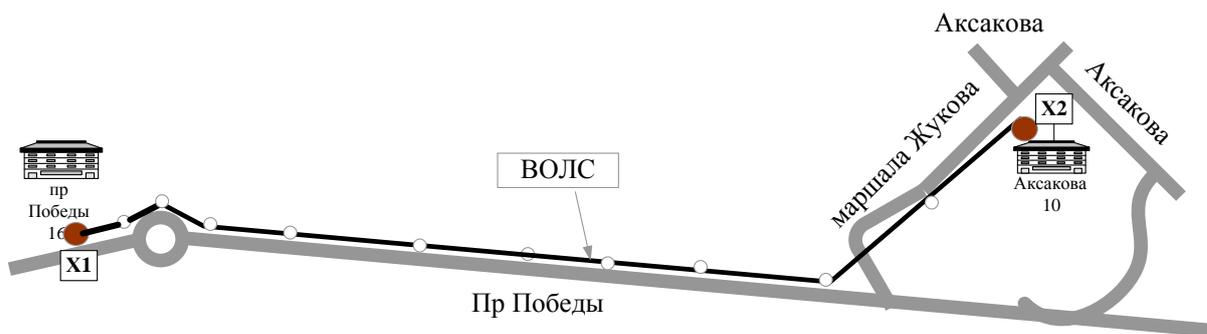


Рисунок 32 – Схема прокладки волоконно-оптического кабеля

Расчет оптоволоконного канала передачи данных.

Расчет необходимого числа каналов.

Число каналов, связывающих заданные оконечные пункты зависит от численности населения в этих пунктах и от степени заинтересованности отдельных групп населения во взаимосвязи.

Определим рабочие точки, создающие нагрузку в сети, по следующей формуле [8]:

$$N_t = N_0 \cdot (1 + P/100)^t \quad (\text{рабочих чел}), \quad (8)$$

где P — коэффициент среднегодового прироста населения, $P = 2,5 \%$;

N_0 — количество рабочих станций на момент переписи.

$$t = 5 + (t_m - t_0), \quad (9)$$

где t_m — год составления проекта;

t_0 — год, в который производилась перепись.

$$t = 5 + (2012 - 2011) = 1.$$

Следовательно получаем:

– объект (X1) - $N_t = 500 \cdot (1 + 1/100)^7 = 536.1$ чел.;

– объект (X2) - $N_t = 50 \cdot (1 + 2/100)^7 = 62.17$ чел.

Степень заинтересованности отдельных групп населения во взаимосвязи, зависит от различных факторов. Взаимосвязь определяется на основании статистических данных, полученных предприятием связи за предшествующие года. Эти взаимосвязи выражаются через коэффициент тяготения $f_1 = 0,05$.

Число телефонных каналов между двумя станциями заданных пунктов определяется по формуле:

$$N_{тлф} = \alpha_1 \cdot f_1 \cdot y \cdot (m_a \cdot m_b / (m_a + m_b)) + \beta_1, \quad (10)$$

где α_1, β_1 — коэффициенты, соответствующие фиксированной доступности и заданным потерям, $\alpha_1 = 1,3, \beta_1 = 5,6$;

y — коэффициент Эрланга, $y = 0,05$ Эрл.;

m_a, m_b — количество абонентов, обслуживаемых оконечными станциями.

Принимая средний коэффициент оснащённости населения телефонными аппаратами равный 0.3, количество абонентов можно определить по формуле [8]:

$$m = 0,3 H_t, \quad (11)$$

$$m_a = 0,3 \cdot 537 = 181 \text{ (количество абонентов объекта X1)}$$

$$m_b = 0,3 \cdot 63 = 19 \text{ (количество абонентов объект X2)}$$

Следовательно:

$$N_{тлф} = 1,3 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \cdot (181 \cdot 19 / (181 + 19)) + 5,6 = 6,2$$

По проектной ВОЛС предполагается организация других видов связи, например, телеграфная связь, передача данных и т.д. Общее число каналов между двумя междугородними станциями заданных пунктов определяется по формуле [8]:

$$N_{общ} = N_{тлф} + N_{тв} + N_{пв} + N_{нд} + N_{нг} + N_{тр} + N_{тг}, \quad (12)$$

где $N_{тлф}$ — количество телефонных каналов для двухсторонней связи;

$N_{тв}$ — количество телевизионных каналов;

$N_{пв}$ — количество каналов проводного вещания;

$N_{нд}$ - количество каналов передачи данных;

$N_{нг}$ - количество каналов передачи газет;

$N_{тр}$ - количество транзитных каналов;

$N_{тг}$ - количество телеграфных каналов.

Следует учесть, что:

$$N_{тлф} = N_{тг} + N_{тр} + N_{нг} + N_{нд} + N_{пв}. \quad (13)$$

Поскольку число каналов для организации связи различного назначения может быть выражено через число телефонных каналов, то есть каналы тональной

частоты, как это делается в аппаратуре передачи данных, то необходимо произвести соответствующий пересчет, принимая во внимание, что один телевизионный канал составляет 1600 каналов тональной частоты.

Следовательно общее количество каналов рассчитывается по следующей формуле [8]:

$$N_{общ} = 2 \cdot N_{тлф} + N_{тв} = 2 \cdot 6.2 + 1600 = 162 + 1600 = 1612$$

Расчет требуемого числа оптических волокон в ВОК.

Волоконно-оптическая система передачи (ВОСП) - совокупность активных и пассивных устройств, предназначенных для передачи информации на расстояния по оптическим волокнам.

Номинальная скорость передачи 622.080 Мбит/с для таких скоростей передачи информации применяются только одномодовые ОВ, так как градиентные многомодовые ОВ ограничивают длину ОК за счет дисперсионных искажений. Необходимое число систем передачи определяется по формуле [8]:

$$N_{cn} = N_{ab} / P = 1762 / 1920 \approx 1, \quad (14)$$

где N_{ab} - общее число каналов между пунктами А и Б;

P - коэффициент многоканальности.

В этом случае у нас остались незадействованные каналы, которые мы оставляем на перспективу.

Требуемое число оптических волокон в ОК рассчитаем по формуле:

$$N_{об} = 2N_{cn} = 2 \cdot 1 = 2$$

Исходя из того, что следует использовать два оптических волокна, для организации связи между объектами X1 - X2, выберем кабель марки ОМПЦ-10-0,22-(4,0).

Этот кабель имеет следующие характеристики:

- коэффициент затухания не более 0,22 дБ/км;
- дисперсия не более 2,5 пс/(нм* км);
- диаметр модового поля ОВ 5,7+1 мкм;
- диаметр оболочки 125+3 мкм;

- не concentricность сердцевины и оболочки не более 0,7 мкм;
- наружный диаметр 16,8±2 мм;
- допустимые растягивающие усилия 4000 Н;
- стойкость к раздавливающим усилиям на 1 см длины 800 Н;
- допустимая температура эксплуатации от - 40° С до +60° С;
- расчетная масса 1 км кабеля 62 кг.

Кабель ОМПЦ-10-0,22-(4,0) предназначен для подвески на опорах линий связи, столбах городского освещения, между зданиями и сооружениями.

Расчет энергетического баланса линии связи.

На рисунке 33 показано падение уровня мощности в линии от передатчика до приемника [11].

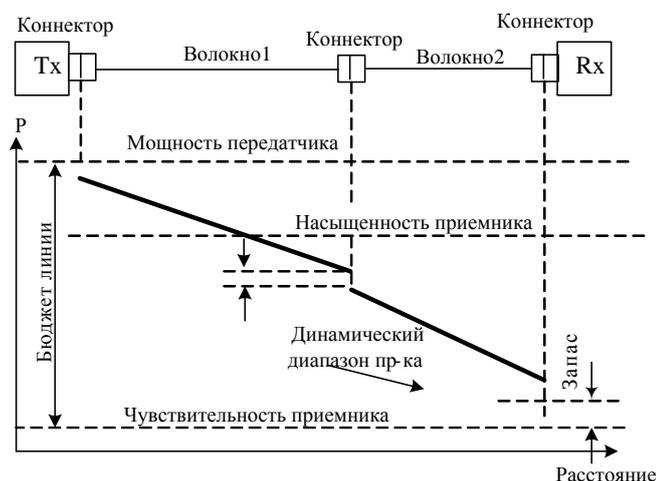


Рисунок 33 – К примеру расчета энергетического баланса линии

Исходные данные.

Передатчик:

- мощность $P_{TR} = -6$ дБ/мВт;
- диаметр излучателя $D_{TR} = 100$ мкм;
- апертура $NA_{TR} = 0,3$.

Приемник:

- чувствительность $P_{RSV} = -39$ дБ/мВт;
- диаметр приемника $D_{TR} = 100$ мкм;
- апертура $NA_{TR} = 0,3$;

– динамический диапазон $P_D=18$ дб.

Волокно 1:

- 50/125мкм;
- поглощение $Att_{F1}=3,5$ дб/км;
- длина $L_{F1}=3$ км;
- апертура $NA_{F1}=0,2$.

Волокно 2:

- 62,5/125мкм;
- поглощение $Att_{F2}=3,5$ дб/км;
- длина $L_{F2}=2$ км;
- апертура $NA_{F2}=0,4$.

Потери в каждом соединении $LOSS_c$ составляют до 1 дб.

Потери из-за несогласованности диаметров D1, D2 $LOSS_D=20\lg(D1/D2)$.

Потери из-за несогласованности апертур NA1,NA2 $LOSS_A=20\lg(NA1/NA2)$.

Расчет.

Потери от передатчика до волокна 1:

$$LOSS_{TR-1} = LOSS_c + LOSS_D + LOSS_A = 1 + 20\lg(100/50) + 20\lg(0,3/0,2) = 1 + 6 + 3,5 = 10,5 \text{ дб.}$$

Потери в волокне 1:

$$ДЩЫЫ_{A1} = \Phi e e_{A1} * D_{A1} = 365 * 3 = 1065 \text{ дбю}$$

Потери на соединении двух волокон (диаметры и апертуры согласованы):

$$LOSS_{F1-F2} = LOSS_c = 1 \text{ дб.}$$

Потери в волокне 2:

$$LOSS_{F2} = Att_{F2} * L_{F2} = 3,5 * 2 = 7 \text{ дб.}$$

Потери от волокна 2 до приемника (диаметры и апертуры согласованы):

$$LOSS_{F2-RSV} = LOSS_c = 1 \text{ дб.}$$

Итого:

$$\text{потери} = 10,5 + 10,5 + 1 + 7 + 1 = 30 \text{ дб.}$$

$$\text{Бюджет мощности} = P_{TR} - P_{RSV} = -6 - 39 = 33 \text{ дб.}$$

Запас бюджета мощности = 33 – 30 = 3 дБ.

Таким образом линия работоспособна, т.к. имеет достаточный запас бюджета мощности, величина которого меньше динамического диапазона приемника.

Таблица 13 – Спецификация оборудования для ВОЛС

Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа	Код оборудования	Единица изм.	Количество	Примечание
1	2	3	4	5	6
Кабельные изделия					
Оптический кабель с центральным силовым элементом (стеклопластиковый пруток Cousin) в броне из защитной промежуточной и внешней оболочки из полиэтилена и гофрированной стальной лентой AHDR-AFOL, с гидрофобным наполнителем			м		
Кабель с медной жилой с п/э изоляцией в п/э оболочке сечением 6 мм			м		
Оборудование, изделия и материалы поставки подрядчика					
Колодец типовой железобетонный сборный подземной кабельн. канализации связи			мм		
Плита железобетонная для вставок к колодцам			шт.		
Кронштейны с гайками и шайбами длиной 0.7м			шт.		
Консоли одноместные			шт.		
Люк чугунный для колодцев (облегченного типа) с запорным устройством			шт.		
Кольцо для люка			шт.		
Принадлежности для монтажа					
Арматура герметизирующих устройств для занятых каналов			м		
Клеммный щиток			шт.		

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6
Оптическое коммутационно-распределительное устройство			шт.		
Санитарно-технические материалы					
Трубка полиэтиленовая высокой плотности Φ 63 мм			м/п		
Труба из полиэтилена низкой плотности Φ 32 мм			м		
Труба гофрированная			м		

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Основные теоретические сведения.
3. Назначение и технические характеристики оборудования (блоков).
4. Этапы проведения лабораторной работы.
5. Схемные решения работы.
6. Расчет оптоволоконного канала передачи данных.
7. Расчет числа оптических волокон в оптоволоконном кабеле.
8. Расчет энергетического баланса линии связи.
9. Спецификация оборудования.
10. Выводы по выполненной работе.
11. Список использованных источников.

9 Лабораторная работа № 9. Вибраторные антенны

Цель работы. Знакомство с общими принципами работы программы моделирования антенн MMANA. Исследовать параметры простых вибраторных антенн с использованием программы MMANA.

Порядок выполнения лабораторной работы.

Построение симметричного вибратора.

1. Построить симметричный вибратор в свободном пространстве с длиной плеча $l=0,25\lambda$ и рабочей частотой 100 МГц. С помощью программы MMANA снять зависимость распределения тока и диаграмму направленности антенны.

Примечание. Под симметричным вибратором подразумевают прямолинейный провод длиной $2l$ (где l - длина плеча вибратора), не нагруженный на концах и питаемый в середине.

2. Построение. Для этого следует выбрать вкладку «Вычисления», нажать кнопку «Графики», в открывшемся окне во вкладке «Настройки» установить *Доп. точки* = 4, *Полоса* = 120000 кГц, нажать кнопку «Доп. точки», перейти на вкладку «Z».

3. Снять зависимость распределения тока и диаграмму направленности антенны для случаев, когда вибратор находится на высоте 1 м и на высоте 5 м над подстилающей поверхностью:

- идеально проводящая земля;
- земля с сухой почвой ($\sigma = 0,001$ См/м, $\epsilon = 20 \dots 30$);
- земля с влажной почвой ($\sigma = 0,1..0,5$ См/м, $\epsilon = 0,1$).

4. Повторить п. п. 1 - 3 для $l=0,5\lambda, 0,625\lambda, 0,75\lambda, \lambda$.

Построение симметричного вибратора в программе MMANA:

1. Во вкладке «Геометрия»:

- задать рабочую частоту 100 МГц;
- установить параметры сегментации по умолчанию;
- рассчитать координаты начала и конца вибратора.
- записать координаты в соответствующие ячейки таблицы;
- установить источник в центре провода (в таблице описания источников под словом «Pulse» необходимо задать $w1c$).

Из рисунка 34 видно, что координата начала вибратора лежит на оси oy (т.е. $x=0, z=0$) и сдвинута по ней на величину l в отрицательную сторону, а координата

конца вибратора также лежит на оси ou и сдвинута по ней на величину l в положительную сторону.

1. Во вкладке «Вычисления»:

- установить тип подстилающей поверхности;
- задать высоту расположения вибратора;
- произвести расчеты нажатием кнопки «Пуск».

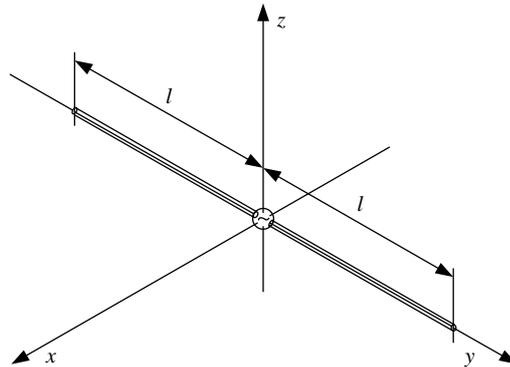


Рисунок 34 - Симметричный вибратор

Построение несимметричного вибратора.

1. Построить несимметричный вибратор на высоте 0 м над идеально проводящей землей с длиной плеча $l=0,25\lambda$ и рабочей частотой 100 МГц. С помощью программы MMANA снять зависимость распределений тока и диаграмму направленности антенны.

2. Построить график зависимости $R_{ВХ}$, $X_{ВХ}$, от частоты входного сигнала. Для этого следует выбрать вкладку «Вычисления», нажать кнопку «Графики», в открывшемся окне во вкладке «Настройки» установить *Доп. точки* = 4, *Полоса* = 120000 кГц, нажать кнопку «Доп. точки», перейти на вкладку «Z».

3. Провести исследования для случаев, когда вибратор находится над:

- землей с сухой почвой ($\sigma = 0,001$ См/м, $\epsilon = 20 - 30$);
- землей с влажной почвой ($\sigma = 0,1..0,5$ См/м, $\epsilon = 0,1$).

4. При этом следует отметить изменение диаграммы направленности.

5. Повторить п. п. 1 .. п. п. 3 для $l=0,5\lambda$, $0,625\lambda$, $0,75\lambda$, λ .

Построение несимметричного вибратора в программе MMANA.

1. Во вкладке *Геометрия*:

- задать рабочую частоту 100 МГц;
- установить параметры сегментации по умолчанию;
- рассчитать координаты начала и конца вибратора;
- записать координаты в соответствующие ячейки таблицы;
- установить источник в центре провода (в таблице описания источников под словом «Pulse» необходимо задать w1b2).

Из рисунка 35 видно, что координата начала вибратора лежит в центре системы координат (т.е. $x=0$, $y=0$, $z=0$), а координата конца вибратора лежит на оси oz (т.е. $x=0$, $y=0$), и сдвинута по ней на величину l в положительную сторону.

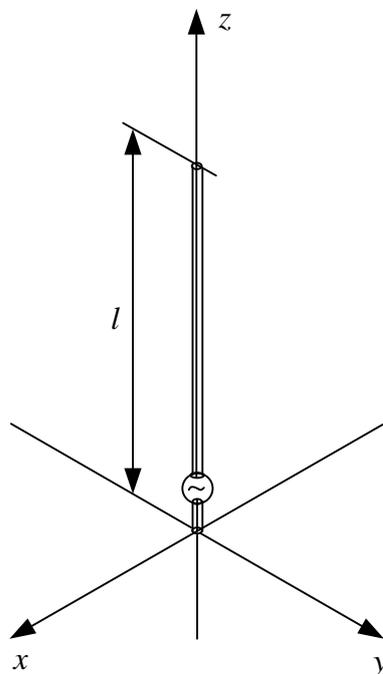


Рисунок 35 - Несимметричный вибратор

2. Во вкладке *Вычисления*:

- установить тип подстилающей поверхности;
- задать высоту расположения вибратора равной 0;
- произвести расчеты нажатием кнопки «Пуск».

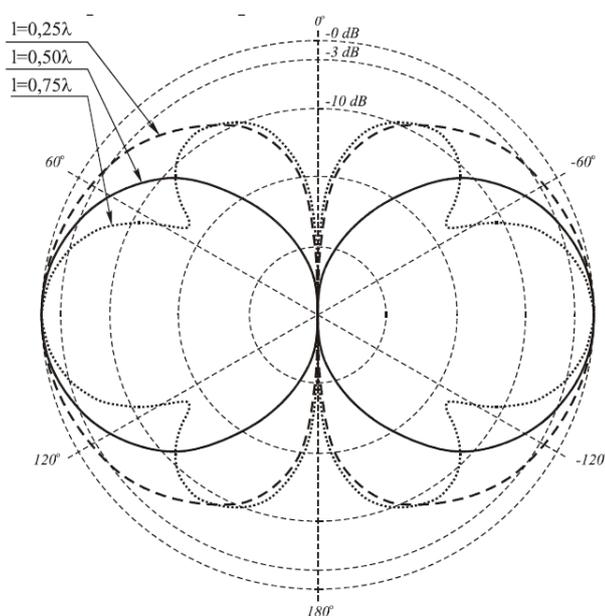


Рисунок 36 - Оформление диаграмм направленности антенны

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Основные теоретические сведения.
3. Графики распределений тока, диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Пример выполнения диаграммы направленности изображен на рисунке 36.
4. Графики зависимости $R_{вх}$, $X_{вх}$, от частоты входного сигнала.
5. Результаты расчетов и экранные формы работы программы
6. Выводы по выполненной работе.
7. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Линейный симметричный вибратор (ЛСВ), как излучающая система.
2. Распределение тока на коротком ЛСВ, и на ЛСВ, длина которого соизмерима с длиной волны.
3. Связь между распределением тока и направленными свойствами линейного симметричного вибратора.
4. Связь между длиной и входным сопротивлением ЛСВ.
5. Влияние подстилающей поверхности на диаграмму направленности

горизонтального и вертикального излучателей.

10 Лабораторная работа № 10. Рупорные антенны

Цель работы. Практическое исследование направленных свойств рупорных антенн с использованием программы *SABOR*. Исследование влияния геометрических параметров рупора на характеристики излучения рупорных антенн.

Теоретическая справка.

Рупорная антенна (РА) состоит из волновода постоянного сечения, играющего роль питающей линии, и присоединенного к нему рупора, представляющего собой волновод переменного сечения. Основные разновидности РА, отличающиеся формой поперечного сечения рупора - Е-плоскостной секториальный рупор, Н-плоскостной секториальный рупор, пирамидальный и конический рупор.

Рупорные антенны применяются в сантиметровом и дециметровом диапазонах волн как самостоятельные антенны или в качестве облучателей линзовых и параболических антенн.

Продольные сечения рупоров в плоскостях Е и Н имеют вид равнобедренных трапеций. Продолжив сходящиеся стороны трапеции до пересечения, получим равнобедренный треугольник, по которому определяются геометрические параметры РА - длина L (высота треугольника), длина стороны R , угол раствора рупора Φ . Параметрам, относящимся к плоскостям Е и Н, приписываются соответствующие индексы.

Поле в разных точках раскрыва РА не синфазно (рисунок 37), что приводит к снижению коэффициента направленного действия (КНД) РА по сравнению с синфазной излучающей поверхностью, размеры которой совпадают с размерами раскрыва РА. Очевидно, что максимальная разность фаз в раскрыве РА имеет место между точками, лежащими в середине и на краях раскрыва РА [5, 6, 9].

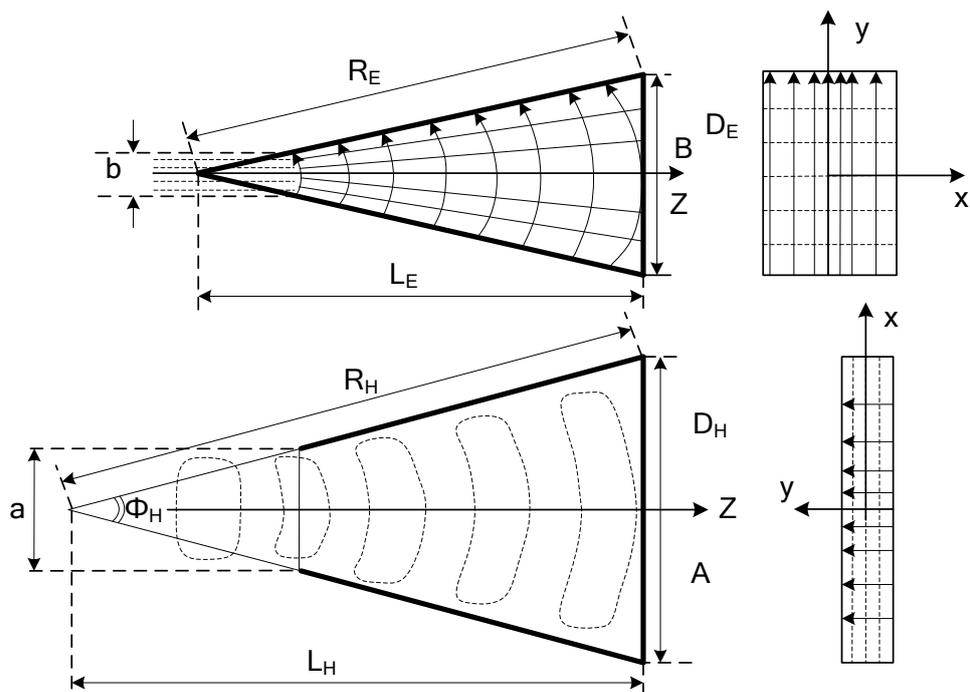


Рисунок 37 - Структура поля в E-плоскостном и в H-плоскостном секториальных рупорах

Форма диаграммы направленности (ДН) РА в данной плоскости полностью определяется параметрами ее продольного сечения в этой плоскости. ДН РА содержит сигарообразный главный лепесток и небольшое число слабых боковых лепестков.

С увеличением $\Phi_{ДН}$ сначала сужается, КНД растет, так как увеличивается размер излучающей поверхности, которая пока остается практически синфазной. При дальнейшем увеличении угла Φ главный лепесток ДН расширяется и искажается, поскольку фронт волны в рупоре все больше искривляется. Оптимальным называется рупор, размеры раскрыва которого подобраны таким образом, чтобы при заданной длине рупора получить максимальный КНД [5, 9].

Порядок выполнения лабораторной работы.

1. Выбрать H-плоскостной рупор - *Horn* \rightarrow *Rectangular* \rightarrow *H-plane sectorial*.

2. Установить в меню *Options*:

– рабочую частоту $f=10$ ГГц (*Frequency*);

- пределы измерений по θ от -90° до 90° (*Theta*);
- исследуемая плоскость 0° (*Phi-cut*);
- пределы измерений по E , $E_{\max}=0$ дБ, $E_{\min}=-40$ дБ (*Field Scale*);
- число точек = 100 (*N.points*);
- выбрать полярную систему координат (*Polars*)

3. Установить в меню *Dimensions - Waveguide dimensions*:

– размеры волновода $a \times b = 2,286 \times 1,016$ (*H-Plane, E-Plane*) *Horn aperture dimensions*;

– ширину плоскости раскрыва $W = 2,625$ см (*H-Plane*);

– длину стороны раскрыва $R_1 = 30$ см (*R1*).

4. Нажатием на пункт меню *Pattern* произвести расчет диаграммы направленности рупора, угла раскрыва по уровню -3 дБ, КНД.

5. Произвести исследование зависимости ширины ДН и КНД от ширины плоскости раскрыва, изменяя W в соответствии с таблицей 14.

Примечание. После задание параметра W необходимо всегда выставлять прежнее значение R_1 .

Таблица 14 – Результаты выполнения лабораторной работы

Ф, град.	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$W \sim R_1 \operatorname{tg} \Phi$, см									
$2 \cdot \theta_{0,5}$, град. (<i>Beamwidth</i>)									
D_H (<i>Directivity</i>)									

7. Построить график зависимости КНД D_H H -плоскостного секториального рупора от размеров апертуры W в виде зависимости $D_H \lambda/b$ от W/λ . Построить график зависимости $2\theta_{0,5}$ от W/λ .

8. Повторить исследование для E -плоскостного рупора - *Horn* \rightarrow *Rectangular* \rightarrow *E-plane sectoral*. (повторить п.п.2 - п.п.7), заполнить таблицу 15 - при исследовании следует произвести замену $W \rightarrow H$, $D_H \rightarrow D_E$; $a \rightarrow b$, $R1 \rightarrow R2$., установить *Phi-cut*= 90° .

Таблица 15 – Результаты выполнения лабораторной работы

Φ, град.	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$H \sim R_2 \operatorname{tg} \Phi$, см									
$2 \cdot \theta_{0,5}$, град. (Beamwidth)									
D_E {Directivity}									

9. Построить график зависимости КНД D_E E -плоскостного секториального рупора от размеров апертуры H в виде зависимости $D_E \lambda/a$ от H/λ . Построить график зависимости $2\theta_{0,5}$ от H/λ .

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Основные теоретические сведения.
3. Заполненные таблицы КНД, $2\theta_{0,5}$ для секториальных H -плоскостного, E -плоскостного рупоров.

4. Графики зависимости КНД D_H H -плоскостного секториального рупора от размеров апертуры W в виде зависимости $D_H \lambda/b$ от W/λ . График зависимости $2\theta_{0,5}$ от W/λ .

5. Графики зависимости зависимости КНД D_E E -плоскостного секториального рупора от размеров апертуры H в виде зависимости $D_E \lambda/a$ от H/λ . График зависимости $2\theta_{0,5}$ от H/λ .

6. Результаты расчетов и экранные формы работы программы
7. Выводы по выполненной работе.
8. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Объяснить устройство и принцип действия рупорной антенны (РА).
Область применения рупорных антенн.
2. Направленные свойства РА.
3. Виды рупорных антенн, особенности геометрической формы.
4. Структура основной волны в волноводе круглого сечения.

5. Структура основной волны в волноводе прямоугольного сечения.
6. В чем особенности и различия Н-плоскостного секториального и Е-плоскостного секториального рупоров?
7. Достоинства и недостатки рупорных антенн.
8. Структура электромагнитного поля на открытом конце волновода.
9. Отличие поля в рупоре и поля в волноводе.
10. Фазовая ошибка, причины возникновения и методы ее устранения.
11. Расчет максимального сдвига фазы возбуждающего поля на краю раскрыва Н-плоскостного секториального и Е-плоскостного секториального рупоров.
12. Расчет максимального сдвига фазы возбуждающего поля на краю раскрыва Н-плоскостного секториального и Е-плоскостного секториального рупоров.
13. Коэффициент направленного действия рупора (КНД).
14. Оптимальный рупор.
15. Формулы расчета КНД оптимального Н-плоскостного секториального и Е-плоскостного секториального рупоров.
16. Формула расчета КНД оптимального пирамидального рупора.
17. Определение КНД антенны. Какие факторы определяют значение КНД.
18. Определение коэффициента усиления антенны. Каким образом коэффициент усиления связан с КНД.
19. Определение эффективной поверхности апертурной антенны. Связь эффективной поверхности с ее КНД и коэффициентом усиления.
20. Факторы, от которых зависит коэффициент использования поверхности апертурной антенны. Учет влияние этих факторов на его величину.

11 Лабораторная работа № 11. Зеркальные антенны

Цель работы. Изучение устройства антенны с рефлектором в виде параболоида вращения. Исследование влияния диаметра зеркала и смещения облучателя из фокуса на форму диаграммы направленности антенны.

Теоретическая справка.

Параболическая антенна используется для создания остронаправленного излучения в диапазоне СВЧ, когда размеры антенны во много раз превышают рабочую длину волны λ . Антенна состоит из металлического зеркала (рефлектора) параболической формы и облучателя, расположенного в ее фокусе.

В работе исследуется антенна с зеркалом в виде параболоида вращения (рисунок 38) с раскрывом, имеющим форму круга диаметром D . Прямая, перпендикулярная плоскости раскрыва и проходящая через его центр, является *осью* зеркала. Расстояние F от вершины зеркала до фокуса называется *фокусным расстоянием*.

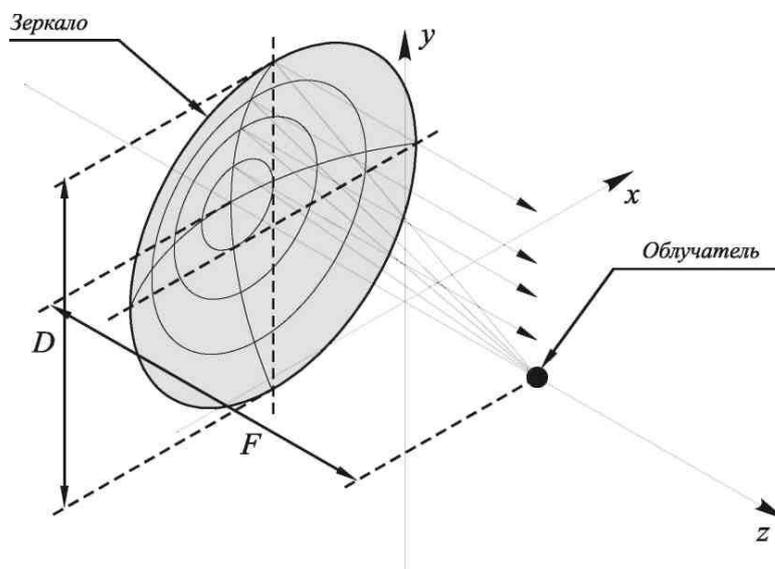


Рисунок 38 - Параболическая зеркальная антенна

Для формирования узкой диаграммы направленности (ДН) в режиме передачи в раскрыве зеркала необходимо возбудить синфазное поле. В режиме приема параболическое зеркало фокусирует падающую плоскую волну в небольшой объем вблизи фокуса («фокальное пятно») [5, 9].

Возможная конфигурация антенны для непосредственного приема сигнала со спутника в бытовых условиях, антенна Кассегрена (рисунок 39). Она редко используется из-за дополнительных расходов на вспомогательный гиперболический рефлектор, хотя и имеет определенные достоинства. Профиль антенны может быть уменьшен, поскольку вспомогательный рефлектор перехватывает отраженные

волны до того, как они достигнут прямофокусной точки, и снова направляет их обратно к расположенной сзади головке облучателя. Главным недостатком такой конфигурации является блокировка вспомогательным рефлектором некоторой части проходящего сигнала, однако применение офсетной конструкции антенны может его устранить.

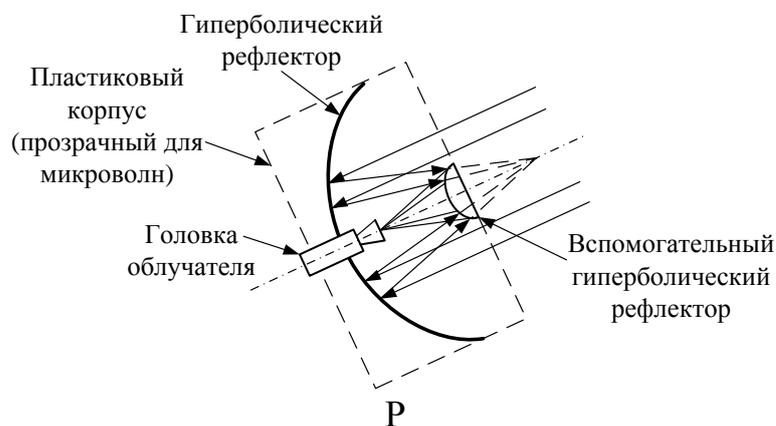


Рисунок 39 – Антенна Кассегрена

Антенна Грегори (рисунок 40) отличается от антенны Кассегрена тем, что вспомогательный гиперболический рефлектор перемещен к эллиптической поверхности. Как и в предыдущем случае, антенна может быть прямофокусной или со смещенным фокусом. Данная конфигурация обладает высокой эффективностью, поскольку преимущества офсетной конструкции соединяются с преимуществами, получаемыми от расположения блока малошумящего конвертора (LNB) с обратной стороны антенны [5, 6, 9].

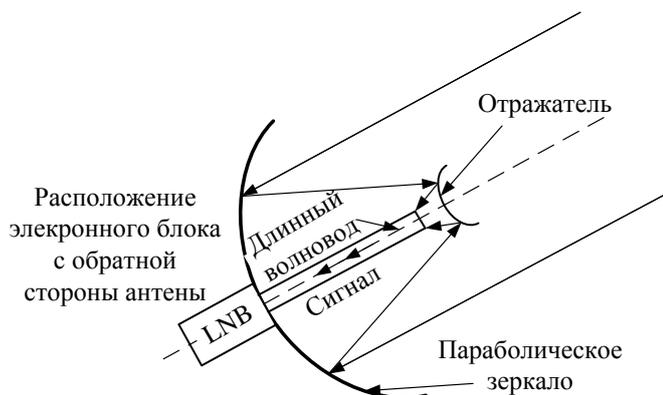


Рисунок 40 - Антенна Грегори

Поскольку линейные размеры зеркала значительно превышают λ , при анализе параболической антенны можно пользоваться методом геометрической оптики,

таким образом можно наглядно показать, что сферическая волна, создаваемая облучателем, помещенным в фокус параболического зеркала, преобразуется зеркалом в плоскую волну, распространяющуюся вдоль его оси [5, 9].

В режиме осевого излучения нормированная ДН параболической антенны может быть рассчитана по приближенной формуле:

$$F(\theta) = A_1(kR \sin(\theta)) = \frac{2J_1(kR \sin \theta)}{kR \sin \theta}, \quad (15)$$

где Θ – угол между осью зеркала и направлением в точку наблюдения;

$k=2\pi/\lambda$ – волновое число;

$J_1(x)$ – функция Бесселя первого порядка от аргумента x ;

λ – рабочая длина волны.

Коэффициент направленного действия (КНД) антенны равен:

$$D = \nu \frac{4\pi S}{\lambda^2} = \nu \left(\frac{2\pi R}{\lambda} \right)^2, \quad (16)$$

где $S = \pi R^2$ - площадь раскрытия зеркала; ν - коэффициент использования поверхности (КИП) зеркала, зависящий от характера изменения амплитуды поля в его раскрытии (чем ближе распределение поля к равномерному, тем ближе величина КИП к единице).

Коэффициент усиления (КУ) антенны равен:

$$G = \eta D = \eta \nu \left(\frac{2\pi R}{\lambda} \right)^2, \quad (17)$$

где η – КПД антенны.

Порядок выполнения лабораторной работы.

1. Перевести программу в режим работы с зеркальными антеннами - *Menu* → *Reflector* → *Ideal cos-q*.

2. Установить тип зеркала «параболический» - *Reflector* → *Parabolic*. Выбрать аппертурный метод расчета антенны - *Model* → *First principle*.

3. Установить в меню *Options*:

- рабочую частоту $f=10$ ГГц (*Frequency*);
- пределы измерений по θ от -90° до 90° (*Theta*);
- исследуемая плоскость 0° (*Phi-cut*);
- пределы измерений по E , $E_{\max}=0$ дБ, $E_{\min}=-40$ дБ (*Field Scale*);
- число точек = 100 (*N.points*);
- выбрать полярную систему координат (*Polars*).

4. Установить в меню *Dimensions*:

- диаметр зеркала = 45 (*Reflector diameter*);
- отношение фокусного расстояния к диаметру = 1 (*F/D Ratio*).

5. Нажатием на пункт меню «*Pattern*» произвести расчет диаграммы направленности антенны, угла раскрыва по уровню -3 дБ, КНД.

6. Изменяя диаметр зеркала в соответствии с таблицей 16 провести исследование зависимости ширины диаграммы направленности и коэффициента усиления от размеров зеркала.

Таблица 16 – Результаты выполнения лабораторной работы

D , см.	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
D/λ										
$2\Theta_{0.5}$, град. (<i>Beamwidth</i>)										
G , дБ (<i>Gain</i>)										

7. Построить графики зависимости ширины диаграммы направленности ($2\theta_{0,5}$) и коэффициента усиления (G) от отношения диаметра зеркала к длине волны (D/λ).

8. Установить в меню *Dimensions* - диаметр зеркала = 100 (*Reflector diameter*). Установить в меню *Option* - исследуемая плоскость 90° (*Phi-cut*).

9. Исследовать влияние смещения облучателя (Δy) из фокуса зеркала на форму диаграммы направленности и коэффициент усиления антенны. Для этого следует изменять параметр - *Options* \rightarrow *Feed defocusing* \rightarrow *Y Defocusing* в соответствии с таблицей 17.

Таблица 17 – Результаты выполнения лабораторной работы

Δy , см.	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
$ 2\Delta y/D $										
θ_{\max} , град. (<i>Theta</i>)										
G, дБ (<i>Gain</i>)										

10. Построить графики зависимости угла наклона максимума диаграммы направленности (θ_{\max}) и коэффициента усиления (G) от смещения облучателя из фокуса зеркала ($|2\Delta y/D|$).

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.

2. Основные теоретические сведения.

3. Заполненные таблицы коэффициента усиления (G), ширины диаграммы направленности ($2\theta_{0,5}$) и угла наклона максимума диаграммы направленности (θ_{\max}) зеркальной антенны.

4. Графики зависимости ширины диаграммы направленности ($2\theta_{0,5}$) и коэффициента усиления (G) от отношения диаметра зеркала к длине волны (D/λ).

5. Графики зависимости угла наклона максимума диаграммы направленности (θ_{\max}) и коэффициента усиления (G) от смещения облучателя из фокуса зеркала ($|2\Delta y/D|$).

6. Результаты расчетов и экранные формы работы программы

7. Выводы по выполненной работе.

8. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Виды зеркальных антенн?

2. Параболическая зеркальная антенна, принцип работы?

3. Длиннофокусные и короткофокусные зеркальные антенны?

4. Коэффициент направленного действия (КНД)? Формула расчета?

5. Формула расчета коэффициента усиления (КУ), суммарная шумовая температура?

6. Что называется коэффициентом использования поверхности раскрыва?
7. Что называется эффективной (действующей) площадью раскрыва?
8. Что применяют в качестве облучателей? Виды облучателей?
9. Антенна Кассегрена?
10. Антенна Грегори?

12 Лабораторная работа № 12. Согласование антенно-фидерного устройства с приемопередатчиком

Цель работы. Получить общие представления о способах согласования устройств передачи и приема информации с каналом связи (антенн и кабельных (фидерных) с выходом передатчика или со входом приемника). Приобрести навыки расчетов и измерений при согласовании каналов телекоммуникационных систем.

Теоретическая справка.

Для передачи наибольшей мощности от источника в нагрузку необходимо обеспечить равенство их сопротивлений, то есть выполнить согласование нагрузки и источника сигнала. Если такого согласования нет, то не вся возможная мощность поступает в нагрузку и энергетический потенциал радиосистемы уменьшается. Это приводит к тому, что при отсутствии согласования между передатчиком и элементами антенно-фидерного устройства мощность, излучаемая антенной становится меньше мощности в режиме согласования, а в случае приемника на его вход из антенны поступает не весь полезный сигнал, а только его часть, что при учете собственных шумов усилительных каскадов приводит к уменьшению отношения сигнал/шум на выходе приемника.

Задача согласования устройств передачи информации с каналом связи, например, радиопередатчика (TX), радиоприемника (RX) или объединенного в одной конструкции приемопередатчика (TRX) с фидерной линией (ФЛ) и антенной (А) в общем случае иллюстрирует рисунке 41 [10].

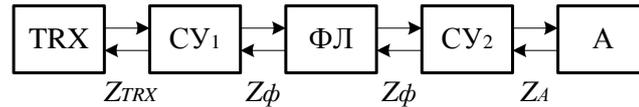


Рисунок 41 - Согласование устройств передачи информации с каналом связи

На этом рисунке СУ1 - согласующее устройство для согласования выходного сопротивления самого передатчика (или приемника) Z_{TRX} с фидерной линией (ФЛ), а СУ2 - согласующее устройство для согласования сопротивления ФЛ Z_{ϕ} с антенной, имеющее сопротивление Z_A . Если антенна расположена вблизи TRX, тогда отпадает необходимость использования ФЛ и одного из согласующих устройств. В общем случае все сопротивления на рис. 1 комплексные и состоят из активного сопротивления R и реактивного X , то есть $Z=R+iX$. В качестве ФЛ обычно применяют стандартные устройства в виде коаксиального кабеля, симметричного двухпроводного кабеля или двухпроводной, четырехпроводной воздушной линии. Такие ФЛ характеризуются волновым сопротивлением ρ , причем для работы в широком диапазоне частот ФЛ изготавливают таким образом, чтобы ρ в рабочем диапазоне имело только активное сопротивление. По этой причине СУ1 обычно входит в состав TRX и рассчитывается на чисто активное стандартное входное/выходное сопротивление. Для несимметричного выхода TRX, к которому подключается коаксиальный кабель, стандартом являются значения 50 или 75 Ом. Иногда используется симметричный выход, рассчитанный на сопротивление 300 или 600 Ом.

Таким образом, согласование ФЛ с TRX осуществляется путем выбора соответствующего кабеля или воздушной линии с волновым сопротивлением ρ , равным выходному сопротивлению TX (входному сопротивлению RX) в соответствии с техническим описанием. Для согласования антенны с волновым сопротивлением фидера можно выбрать такую конструкцию антенны, чтобы $Z_A=\rho$, тогда СУ2 также не потребуется и можно антенну непосредственно соединять с ФЛ. Заметим, что в этом случае необходимо, чтобы сопротивление антенны было чисто активным, то есть $Z_A=R_A=\rho$. В других случаях, когда имеющаяся антенна обладает

Z_A не равным ρ , требуется СУ. Такая ситуация может возникнуть при использовании стандартных антенн с $R_A \neq \rho$ или в случае разработки антенн не по критерию равенства сопротивлений $R_A = \rho$, а по другим критериям, например, по наибольшему коэффициенту усиления G , большой широкополосности, малых геометрических размеров и т.д. Одновременно удовлетворить двум разным требованиям: $Z_A = \rho$ и, например, $G = G_{max}$, как правило, не удастся. Задача усложняется и при учете частотной зависимости параметров антенны, в том числе и Z_A , при работе приемопередатчика в широкой полосе частот. Для оценки степени согласования используются ниже перечисленные параметры [10].

Коэффициент отражения по напряжению показывает отношение напряжения отраженной волны U_2 к напряжению падающей волны U_1 :

$$K_{omp} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_A - Z_\phi}{Z_A + Z_\phi}, \quad (18)$$

В режиме согласования, когда $Z_A = Z_\phi$, $K_{omp} = 0$, а в общем случае K_{omp} является комплексной величиной, то есть учитывает не только амплитуду, но и фазу отраженной волны.

Коэффициент стоячей волны (КСВ):

$$КСВ = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{|U_1| + |U_2|}{|U_1| - |U_2|} = \frac{1 + \frac{|U_2|}{|U_1|}}{1 - \frac{|U_2|}{|U_1|}} = \frac{1 + |K_{omp}|}{1 - |K_{omp}|}, \quad (19)$$

где $КСВ$ - действительная величина, изменяется от 1 (идеальное согласование) до ∞ .

На практике часто хорошим согласованием считается $КСВ \leq 1,5$. В случае чисто активных сопротивлений $Z_\phi = \rho$ и $Z_A = R_A$:

$$КСВ = \frac{R_A}{\rho}, \quad (20)$$

При $R_A \geq \rho$.

$$КСВ = \frac{\rho}{R_A}, \quad (21)$$

При $\rho \geq R_A$.

Коэффициент бегущей волны (КБВ):

$$КБВ = \frac{1}{КСВ} = \frac{U_{\min}}{U_{\max}} = \frac{1 - |K_{\text{omp}}|}{1 + |K_{\text{omp}}|}, \quad (22)$$

КБВ изменяется от 1 (идеальное согласование) до 0.

Способы согласования.

На практике применяется несколько основных способов согласования фидерной линии с антенной, причем ясно, что для согласования не могут быть использованы СУ с резисторами, поскольку это приведет к потерям энергии при передаче или приеме и общие параметры всей радиотехнической системы - мощность излучения, чувствительность приемника, а как следствие этого и дальность действия - значительно ухудшатся [10].

П-образный контур (рисунок 42) состоит из трех реактивных элементов C_1 , C_2 и L и предназначен для трансформации входного сопротивления $Z_1 = R_1 + iX_1$ в выходное сопротивление $Z_2 = R_2 + iX_2$.

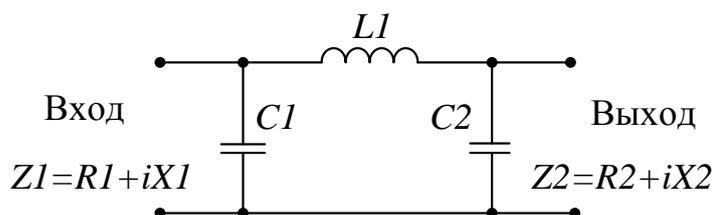


Рисунок 42 - П-образный контур

Как видно из рисунка 42, П-образный контур является ФНЧ третьего порядка. Его частота среза должна быть выше максимальной рабочей частоты. Недостатком этого согласующего устройства является его узкополосность. При смене диапазона частот требуется перестроить все три реактивных элемента. Достоинством служит возможность согласования как реактивных, так и активных составляющих сопротивлений.

Широкополосный трансформатор (рисунок 43) содержит две обмотки на кольце из магнитного материала: первичную с числом витков W_1 и вторичную с числом витков W_2 .

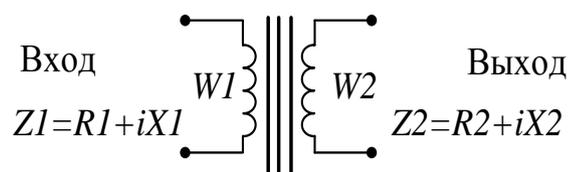


Рисунок 43 - Широкополосный трансформатор

Коэффициент трансформации $n = W_2/W_1$ позволяет преобразовать входное сопротивление Z_1 в выходное Z_2 - $Z_2 = R_2 + iX_2 = n^2 Z_1 = n^2 R_1 + n^2 iX_1$.

Как видно из этой формулы, изменение реактивной и активной составляющих сопротивления происходит в одно и то же число раз, поэтому добиться произвольного соотношения между R_2 и X_2 в соответствии с требованиями согласования в этом СУ невозможно. В связи с этим данный метод применяется для согласования только активных сопротивлений, когда реактивности и со стороны входа и со стороны выхода равны 0 - $Z_2 = R_2 = n^2 R_1$.

Достоинством такого СУ устройства является его большая широкополосность, а также возможность одновременно с согласованием получить симметричный выход для подключения к симметричной антенне или фидерной линии. Недостаток схемы, как уже отмечалось, - невозможность согласования одновременно по активному и реактивному сопротивлениям, а также значительные потери энергии в магнитном сердечнике при использовании СУ на выходе мощных передатчиков [10].

Компенсирующая реактивность. Если антенна имеет активное сопротивление равное волновому сопротивлению фидера, то есть $R_A = \rho$, то ее реактивное сопротивление можно компенсировать, включив последовательно с антенной дополнительную реактивность той же величины, но противоположного знака. Если $R_A \neq \rho$, после такой компенсации можно трансформировать R_A в $R'_A = \rho$ с использованием широкополосного трансформатора.

Согласование вертикальных вибраторов. Рассмотрим способ согласования с фидером вертикальных несимметричных вибраторных антенн, которые широко применяются в системах подвижной радиосвязи. Известно, что для вертикального четвертьволнового ($L = \lambda/4$, где λ - длина волны) вибратора, расположенного над ровной идеально проводящей горизонтальной поверхностью (рисунок 44, а),

сопротивление чисто активное и равно половине сопротивления полуволнового вибратора, находящегося в свободном пространстве, то есть 36,5 Ом.

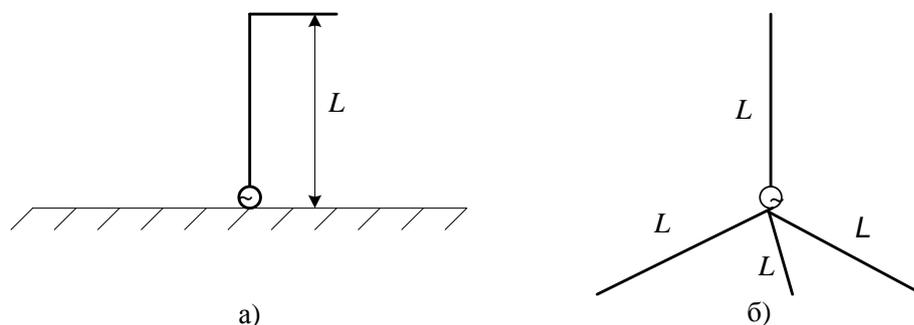


Рисунок 44 – Расположение вибраторов на поверхности

Для согласования такой антенны с радиотехническим устройством, имеющим сопротивление 50 или 75 Ом можно применить СУ в виде Π -образного контура или широкополосного трансформатора, а можно изменить конструкцию антенны, одновременно упростив ее практическую реализацию. Для этого проводящая поверхность заменяется тремя противовесами длиной $L=\lambda/4$, как и у самого вибратора, причем противовесы располагаются под углом 135° к вибратору. Такая конструкция имеет чисто активное сопротивление примерно равное 50 Ом и носит название антенны Ground Plane (сокращенно GP, рисунок 44, б) и может подключаться к TRX непосредственно, без СУ [10].

Для улучшения направленных в вертикальной плоскости свойств подобной антенны требуется увеличить длину ее вибратора. Но при этом изменяется активное сопротивление R_A и появляется реактивная составляющая X_A индуктивного характера. Для согласования такой антенны необходимо компенсировать реактивность X_A , введя дополнительно реактивность противоположного знака, то есть емкость, а затем трансформировать R_A в $R'_A=\rho$. Если активное сопротивление антенны равно волновому сопротивлению кабеля, то этой операции не потребуется.

В некоторых случаях при использовании переносными или автомобильными средствами связи размеры $L=\lambda/4$ является чрезмерно большими. По этой причине применяют укороченные вертикальные вибраторы с $L<\lambda/4$. Реактивное

сопротивление такой антенны имеет емкостный характер и может быть скомпенсировано последовательным включением индуктивности соответствующей величины. Дальнейшее согласование осуществляется путем трансформации R_A в $R'_A = \rho$. Укороченные антенны могут изготавливаться в виде витой спирали, которая одновременно является и компенсирующей индуктивностью и излучающим вибратором. Такими конструкциями оборудованы практически все радиотелефоны систем подвижной связи.

На рисунке 45 показана зависимость активного сопротивления вертикального вибратора R_A (а) и его реактивного сопротивления X_A (б) в зависимости от отношения L/λ . Заметим, что $X_A > 0$ соответствует индуктивному, а $X_A < 0$ - емкостному сопротивлению.

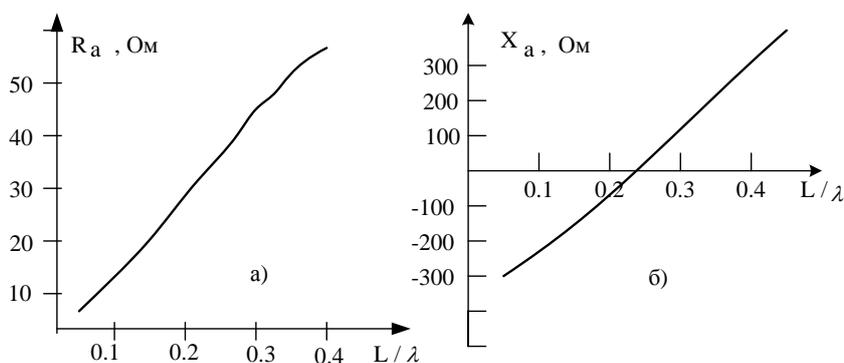


Рисунок 45 - Зависимость активного сопротивления вертикального и его реактивного сопротивления

Из рисунка 45,а и 45,б видно, что активное сопротивление антенны для $L/\lambda < 0,5$ увеличивается с ростом L/λ . Для $L/\lambda = 1/4$, $R_A = 36,5$ Ом. Для более коротких антенн R_A сильно падает и составляет единицы Ом. Следует помнить, что данные графики построены для идеализированной ситуации, когда вибратор расположен над плоской, хорошо проводящей поверхностью. На практике роль проводящей поверхности выполняет противовес, корпус радиостанции, поверхность крыши и т.д. В этих предметах из-за потерь энергии возникает активное сопротивление, которое, складываясь с сопротивлением вибратора, увеличивает R_A . Поэтому для коротких антенн реальное значение R_A значительно больше указанных на рис. 5а,

а КПД таких антенн из-за потерь существенно ниже 1 [10].

Порядок выполнения лабораторной работы.

Для выполнения лабораторной работы требуется радиостанция «Alan-48 plus», прибор КСВ-метр, эквивалент антенны, внешняя антенна GP с фидерной линией в виде коаксиального кабеля с $\rho = 50$ Ом, длина антенны $L = \lambda_{cp}/4$, где λ_{cp} - средняя длина волны радиостанции «Alan-48 plus», укороченная антенна с $L=1$ м, удлиненная антенна с $L=3$ м и согласующее устройство из набора емкостей и индуктивностей.

1. Проверка КСВ-метра. Необходимо собрать установку из радиостанции, КСВ-метра (SWR - английский аналог сокращения КСВ) и эквивалента антенны. Провести измерения КСВ в трех различных точках диапазона работы «Alan-48 plus». Для измерений поставить переключатель PWR/SWR в положение SWR, в положении другого переключателя FWD (прямая волна) установить регулятором стрелку на конец шкалы (SET), затем в положении REF (обратная волна) по нижней шкале прибора SWR отсчитать показания. Ясно, что если выходное сопротивление радиостанции равно сопротивлению эквивалента антенны, согласование должно быть полным и КСВ равным 1. В реальных условиях допустимо значение $КСВ \leq 1,2$.

2. Измерение частотной зависимости КСВ внешней антенны. Вместо эквивалента антенны к КСВ-метру подключить разъем кабеля, соединенного с антенной GP. Измерить КСВ во всем диапазоне работы радиостанции. Число точек, в которых проводится измерения, около 20 (через 20 каналов). Построить график зависимости КСВ от частоты. По графику определить диапазон удовлетворительного согласования ($КСВ < 1,5$) и оптимальную частоту антенны (минимум КСВ) [10].

3. Согласование укороченной антенны с выходом TRX. Сначала по методике пункта 2 снять частотную зависимость КСВ для укороченной антенны, подсоединенной к КСВ-метру непосредственно без СУ. Затем по графику рис. 5б определить величину и тип реактивного элемента необходимого для компенсации реактивного сопротивления антенны на канале 20 D.

Подключить СУ и выбрать реактивность, наиболее близкую к результатам

расчетов. Повторить измерения частотной зависимости КСВ. Построить два графика и отметить область удовлетворительного согласования [10].

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Основные теоретические сведения.
3. Этапы проведения проверки КСВ-метра.
4. Графики частотной зависимости КСВ внешней антенны.
5. Выводы по выполненной работе.
6. Список использованных источников.

13 Лабораторная работа № 13. Определение геометрической видимости интервала трассы для системы связи УКВ диапазона

Цель работы. Провести расчет геометрической видимости трассы радиолиний УКВ диапазона согласно полученному заданию.

Теоретическая справка.

Радиоволны УКВ диапазона распространяются прямолинейно или с некоторым отклонением (огибанием земной поверхности) от прямой, соединяющей антенны приемопередающих станций. Следовательно, все препятствия, встречающиеся на пути распространения радиоволн УКВ диапазона, являются экранами, которые снижают или вообще преграждают их прохождение. По условиям отражения радиоволн участки трассы могут быть гладкие, зеркальные, например, поверхность водоема, или шероховатые – пересеченная местность. Зеркальные участки создают условия направленного отражения радиоволн, шероховатые – рассеянного.

В зависимости от условий местности и высоты антенн, трассы могут быть открытые, полуоткрытые и закрытые.

Открытой трассой принято называть трассу, у которой прямая линия,

соединяющая центры передающей и приемной антенны (линия прямой видимости), проходит выше всех точек местности (рельефа, леса, строений) [7].

Закрытая трасса имеет формы рельефа и местные предметы такой высоты, которые значительно возвышаются над линией прямой видимости.

Важной характеристикой трассы является величина ее просвета или закрытия.

Просветом трассы (клиренсом) называется пространство по высоте между высшими точками земной поверхности и линией прямой видимости.

Величиной закрытия называется высота препятствия (экрана) на трассе выше линии прямой видимости.

Дальность прямой (геометрической) видимости на участке трассы УКВ линии связи зависит не только от расположенных на ней возвышенностей и местных предметов, но и шарообразности земной поверхности.

Следовательно, при определении геометрической видимости с целью использования радиотехнических средств УКВ диапазона, необходимо учитывать влияние следующих факторов:

- влияние кривизны (шарообразности) земной поверхности;
- влияние атмосферной рефракции;
- экранирующее действие рельефа и местных предметов [7].

Определение геометрической видимости интервала трассы путем вычислений.

Аналитический способ определения геометрической видимости имеет то преимущество, что он освобождает от графических построений, не требует приведения высот и расстояний к определённому масштабу и даёт возможность получать истинную величину закрытия (+ ΔH) или просвета (- ΔH) в метрах. Решение может быть выполнено по формуле (1) точно, или (2) приближенно. Решение всегда выполняется от точки с меньшей высотой к точке с большей высотой без учёта антенн, так как полученная величина закрытия подскажет, какой высоты антенны следует применять на исследуемом интервале.

Схематично определение геометрической видимости трассы показано на рисунке 46.

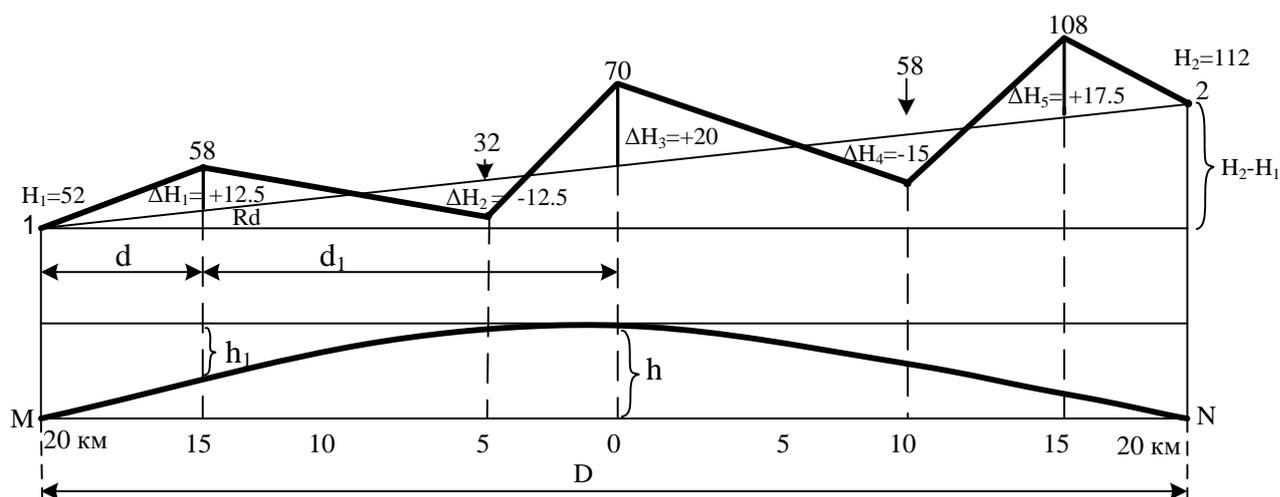


Рисунок 46 – Определение геометрической видимости путем вычислений

На рисунке 46 приняты следующие обозначения:

- MN - уровневая поверхность;
- h - поправка на кривизну Земли;
- h_1 - понижение горизонта относительно середины интервала;
- H_1 - точка с меньшей высотой;
- H_2 - точка с большей высотой;
- D - длина интервала;
- d - расстояние от точки 1 до промежуточной точки (препятствия);
- kd - превышение вследствие наклона линии 1-2;
- H_{np} - высота промежуточных точек с учетом высоты местных предметов.

Коэффициент, характеризующий наклон линии 1-2 находится по формуле:

$$k = \frac{H_2 - H_1}{D}. \quad (23)$$

При $H_1 = H_2$, $k=0$. Если $H_2 - H_1 < 5$ м, можно считать $k=0$.

По рисунку 6.1 запишем:

$$\Delta H = H_{np} - H_1 - \frac{H_2 - H_1}{D} \cdot d + \frac{D^2}{50} - 0,08d_1^2. \quad (24)$$

В полученном выражении для исследуемого интервала постоянными величинами являются: H_1 , h и k, а также разность (H_1-h) . Величины h и h_1 рассчитываются соответственно по формулам без учета рефракции:

$$h(m) = \frac{D^2(\text{км})}{50}; \quad (25)$$

$$h_1(m) = 0,08d_1^2(\text{км}). \quad (26)$$

С учетом рефракции:

$$h(m) = \frac{D^2(\text{км})}{68}; \quad (27)$$

$$h_1(m) = 0,06d_1^2(\text{км}), \quad (28)$$

Тогда:

$$\Delta H = H_{np} - (H_1 - h) - kd - h_1. \quad (29)$$

Подставив численные значения величин, для рисунка 6.1 получим:

$$\Delta H_1 = 58 - (52 - 32) - \left(\frac{112 - 52}{40} \times 5\right) - 18 = +12,5\text{м} \quad (\text{закрытие})$$

$$\Delta H_2 = 32 - 20 - 1,5 \times 15 - 2 = -12,5\text{м} \quad (\text{просвет})$$

$$\Delta H_3 = 70 - 20 - 1,5 \times 20 - 0 = +20,0\text{м} \quad (\text{закрытие})$$

$$\Delta H_4 = 58 - 20 - 1,5 \times 30 - 8 = -15,0\text{м} \quad (\text{просвет})$$

$$\Delta H_5 = 108 - 20 - 1,5 \times 35 - 18 = +17,5\text{м} \quad (\text{закрытие})$$

Определение геометрической видимости данным способом даёт самые точные результаты. Для выполнения арифметических действий могут быть применены линейки с подписанными поправками h и h_1 , калькуляторы и другая вычислительная техника. Полученная величина $\pm \Delta H$ подписывается на карте у соответствующей точки на интервале.

Приближенное решение может быть выполнено по формуле:

$$\frac{H_1 + H_2}{2} + Z > H_{np} + \frac{D^2}{50}, \quad (30)$$

где Z - высота антенн, если высота антенн разная, то нужно брать $\frac{Z_1 + Z_2}{2}$.

Геометрическая видимость будет в том случае, если левая часть неравенства больше правой.

Решим примеры, рассмотренные в предыдущем способе и показанные на чертеже:

- $\Delta H_1 = (52+112)/2 < 58 + 40^2 / 50, \quad 82 < 90, \text{ (закрытие 8 м);}$
- $\Delta H_2 = 82 > 32 + 32, \quad 82 > 64, \text{ (просвет 18 м);}$
- $\Delta H_3 = 82 < 70 + 32, \quad 82 < 102, \text{ (закрытие 20 м);}$
- $\Delta H_4 = 82 < 58 + 32, \quad 82 < 90, \text{ (закрытие 8 м);}$
- $\Delta H_5 = 82 < 108 + 32, \quad 82 < 140, \text{ (закрытие 58 м).}$

Сравнивая полученные результаты, не трудно убедиться, что приближенная формула дает справедливые результаты только для середины интервала и тех точек, которые расположены недалеко от нее. Разные результаты получаются потому, что в решении по сокращенной формуле не учитываются превышения вследствие разности высот точек установки антенн и понижение горизонта промежуточных точек относительно середины интервала.

Для построения профиля интервала трассы необходимо:

- соединить на карте прямой линией точки, между которыми строится профиль, и определить ее длину;
- определить по горизонталям абсолютные высоты крайних и промежуточных точек и подписать их на карте, в качестве промежуточных точек выбираются характерные, самые высокие и самые низкие точки по трассе (точки перегиба);
- выбрать наиболее целесообразные масштабы построения профиля, горизонтальный масштаб зависит от длины интервала трассы, вертикальный – от величины разности высот точек по трассе.

На практике чаще всего применяются масштабы 1:100 000 и 1:1000 или 1:200 000 и 1:2000. Профиль может быть построен на миллиметровой бумаге или специально заготовленном бланке.

Варианты заданий для лабораторной работы.

Варианты заданий представлены в таблице 1.

Таблица 18 - Варианты заданий для лабораторной работы

№ варианта	Объект № 1 (точка М)	Объект № 2 (точка N)
1	2	3
1	Оренбург	Шарлык
2	Оренбург	Сорочинск
3	Оренбург	Саракташ
4	Оренбург	Соль-Илецк
5	Оренбург	Илек
6	Сорочинск	Бузулук
7	Бузулук	Бугуруслан
8	Саракташ	Кувандык
9	Оренбург	Ташла
10	Медногорск	Орск
11	Соль-Илецк	Акбулак
12	Орск	Светлый
13	Светлый	Озерный
14	Шарлык	Стерлитамак
15	Оренбург	Тоцкое
16	Оренбург	Беляевка

Содержание отчета по лабораторной работе.

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные.
3. Основные соотношения, расчёты и результаты выполнения индивидуального задания.
4. Схемные решения.
5. Выводы по выполненной работе.
6. Список использованных источников.

Контрольные вопросы.

1. Какие бывают трассы по характеру местности?
2. Какие факторы определяют геометрическую видимость трассы?
3. Назовите условие геометрической видимости трассы.
4. Каков порядок построения профиля интервала трассы?
5. Каково влияние рефракции на просвет трассы?

Список использованных источников

1 Степанов, С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С. Н. Степанов; Интеллект Телеком, Науч.-исслед. и инновац. центр. - М. : Эко-Трендз, 2010. - 392 с. - (Библиотека Интеллект Телеком). - Библиогр. в конце гл. - ISBN 978-5-88405-092-1.

2 Пятибратов, А. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации : учебник для вузов / А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Кириченко .- 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Финансы и статистика, 2008. - 736 с. - Библиогр.: с. 718-721. - Предм. указ.: с. 727 - 734.

3 Колосовский, Е. А. Устройства приема и обработки сигналов : учеб. пособие для вузов / Е. А. Колосовский . - М. : Горячая линия-Телеком, 2007. - 456 с. : ил.. - Библиогр.: с. 452. - ISBN 5-93517-264-X.

4 Назаров, А. Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения : монография / А. Н. Назаров, К. И. Сычев. - Красноярск : Поликом, 2010. - 390 с. - Библиогр.: с. 334 - 346. - Прил.: с. 347 - 388.

5 Локшин, Г. Р. Основы радиооптики / Г. Р. Локшин. - Долгопрудный : Интеллект, 2009. - 344 с. : ил. - (Физтеховский учебник). - Библиогр.: с. 342 - 343.

6 WiMAX-технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение. [Вимакс...] / под ред. В. В. Крылова . - СПб. : БХВ -Петербург, 2005. - 356 с. : ил.. - Библиогр.: с. 354 - 356.

7 Нефедов, В. И. Основы радиоэлектроники и связи : учеб. для вузов / В. И. Нефедов.- 3-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2005. - 510 с. - Библиогр. : с. 499. - Предм. указ. : с. 503 - 508. - ISBN 5-06-004274-X.

8 Андреев, В. А. Многомодовые оптические волокна. Теория и приложения на высокоскоростных сетях связи : монография / В. А. Андреев, А. В. Бурдин. - М. : Радио и связь, 2004. - 248 с. : ил. - Библиогр.: с. 228-247. - ISBN 5-256-01753-5.

9 Попов, В. И. Основы сотовой связи стандарта GSM / В. И. Попов .- М. : Эко-Трендз, 2005. - 296 с. - Библиогр.: с. 287-292. - ISBN 5-88405-068-2.

10 Основы управления использованием радиочастотного спектра [Текст] / под ред. М. А. Быховского . - М. : КРАСАНД, 2012. Т. 3 : Частотное планирование сетей телерадиовещания и подвижной связи. Автоматизация управления использованием радиочастотного спектра. - , 2012. - 367 с : ил., табл - ISBN 978-5-396-00402-3.

11 Семенов, А. Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС [Текст] / А. Б. Семенов. - М. : Академия АйТи : ДМК, 2007. - 632 с. : ил. - (Информационные технологии для инженеров). - Глоссарий: с. 607-614. - Библиогр.: с. 615-631. - ISBN 5-98435-025-2.

12 Душин, В. К. Теоретические основы информационных процессов и систем [Текст] : учеб. для вузов по направлению "Информац. системы" / В. К. Душин .- 3-е изд. - М. : Дашков и К, 2009. - 348 с. - Библиогр.: с. 341-342. - ISBN 978-5-394-00002-7.

13 Широкополосные беспроводные сети передачи информации [Текст] : монография / В. М. Вишнеvский [и др.]. - М. : Техносфера, 2005. - 592 с. - Библиогр.: с. 579-591. - ISBN 5-94836-049-0.

Приложение А (рекомендуемое)

Фрагмент моделирующей программы

- * GPSS/PC Program File L1x.GPS. (V 2, # 37349)
- * MODEL OF INFORMATION LINK
- * Data transmission system with feedback
- * Messages transfer with segmentation on standard packet
- * Frame failures take place because of errors
- * in forward and backward data link
- X1 - message length ;
- X2 - standard segment (information packet) length
- X3 - control packet length
- X4 - probability of error per bit (x 1E-6)
- X5 - propagation delay in channel
- X6 - time-out of frame answerback
- X7 - time of modeling
- X8 - number of transmission frame
- X9 - counter of transmission messages
- X10 - counter of receive segment on destination point
- X11 - counter of received data
- X12 - number of next frame on destination point
- X13 - counter of prepered segment
- X14 - counter of received date in cycle
- P1 - storage of start time for transmission message
- P2 - number of segment in message
- P3 - total number of segment in message
- P4 - packet length
- P5 - storage of start time for transmission frame
- P6 - error flag (0 - error-free, 1 - error frame)
- P7 - tipe of control frame (1 - RR, 0 - REJ)
- P8 - frame number
- P9 - frame transmission flag (0 - no, 1 - yes)
- 20 INITIAL X1,2000 ;message length
- 30 INITIAL X2,512 ;standard packet length
- 40 INITIAL X3,48 ;length of control packet
- 50 INITIAL X4,1000 ;probability of error
- 60 INITIAL X5,800 ;propagation delay
- 70 INITIAL X6,1500 ;time-out of answerback
- 75 INITIAL X7,100000 ;time of modeling
- 80 INITIAL X8,0
- 85 INITIAL X9,0

90 INITIAL X10,1
 91 INITIAL X11,0
 93 INITIAL X12,1
 95 INITIAL X13,0
 97 INITIAL X14,0
 100 BUF1 STORAGE 3 ; buffer for window
 110 BUF2 STORAGE 1
 120 LKF VARIABLE X1@X2 ;length of non-standard packet
 130 LKI VARIABLE X1/X2 ;number of standard packet
 140 LKS VARIABLE X1/X2+1 ;number of packet
 150 LKY VARIABLE P3-1 ;number of packet - 1
 160 LKX VARIABLE X1/X2-1 ;number of copy
 170 TKC1 VARIABLE P4+48 ; information frame length
 180 TKC2 VARIABLE X3+48 ; control frame length
 190 P_ER1 VARIABLE V\$TKC1#X4/1000 ; probability of
 200 P_ER2 VARIABLE V\$TKC2#X4/1000 ; error per frame
 HOM_R VARIABLE X12-1 ;acknowledge frame number
 CYCLE VARIABLE (X2+48)+X5+(X3+48)+X5 ;stand.cycle
 213 R_CICLE VARIABLE X14#100/V\$CYCLE ;relative rate
 220 TIME TABLE MP5,0,300,20 ;frame delivery time
 230 TIM_M TABLE MP1,0,4000,8;message delivery time
 240 RATE TABLE V\$R_CYCLE,0,10,10;relative rate