

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»  
(МТУСИ)**

**Кафедра «Сети связи и системы коммутации»**

**Учебно-методическое пособие  
для практических занятий по дисциплине**

**«Телекоммуникационные сети»**

**Для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

Москва, 2024 г.

Учебно-методическое пособие  
для практических занятий по  
дисциплине

**Телекоммуникационные сети**

Составители: **Пшеничников А. П.**, к.т.н., профессор;  
**Маликова Е. Е.**, к.т.н., доцент;  
**Степанов С. Н.**, д.т.н., профессор  
**Степанов М. С.**, к.т.н., доцент.

Рецензенты: **Степанова И. В.**, к.т.н., доцент  
**Богомолова Н. Е.**, к.т.н., доцент.

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Сети фиксированной телефонной связи.....</b>	<b>6</b>
1.1. Принципы построения городских телефонных сетей.....	6
1.2. Нерайонированные ГТС .....	7
1.3. Районированные ГТС без узлов.....	7
1.4. Районированные ГТС с одним узлом в соединительном тракте.....	9
1.5. Районированные ГТС с двумя узлами в соединительном тракте .....	11
1.6. Оборудование сетей NGN .....	13
1.7. Переход от телефонной сети общего пользования к сетям NGN с помощью стратегии создания островов .....	14
1.8. Переход от ГТС к NGN с помощью стратегии наложенной сети .....	15
Задание №1 .....	18
<b>2. Нумерация на телефонной сети связи общего пользования .....</b>	<b>23</b>
2.1. Рекомендации МСЭ-Т по нумерации на телефонных сетях .....	23
Нумерация в сети подвижной радио телефонной связи (ПРТС) .....	28
Задание №2 .....	33
<b>3. Сигнализация по абонентским линиям.....</b>	<b>37</b>
3.1. Сигнализация постоянным током .....	37
3.2. Набор номера многочастотным способом .....	40
3.3. Абонентская сигнализация EDSS1 по D-каналу .....	41
3.4. Абонентская сигнализация в IP-сетях .....	44
Задание №3 .....	44
<b>4. Способ передачи функциональных сигналов по ИКМ-трактам .....</b>	<b>45</b>
4.1. Преобразование сигналов в системах передачи с ИКМ .....	45
4.2. Диаграмма временных циклов ИКМ 30/32 .....	46
4.3. Кодирование сигналов в прямом и обратном направлениях передачи ....	49
Задание №4.....	52
<b>5. Тактовая сетевая синхронизация на цифровой сети связи.....</b>	<b>53</b>
5.1. Основные определения .....	53
5.2. Режимы работы сети тактовой сетевой синхронизации.....	54
5.3. Источники сигналов синхронизации .....	55
5.5. Регионы синхронизации.....	58
5.6. Передача синхросигналов по приоритетному принципу .....	60
5.7. Синхронизация в системах передачи синхронной цифровой иерархии...	61
5.8. Синхронизация на местных телефонных сетях .....	66
5.9. Классы присоединения сетей операторов связи.....	69
Задание №5 .....	71
<b>6. Сети подвижной сотовой связи .....</b>	<b>73</b>
6.1. Методы разделения ресурсов в телекоммуникационных сетях .....	73
6.2. Поколения сотовой связи.....	78
6.3. Архитектура сети стандарта GSM .....	80
6.4. Частотный план стандарта GSM-900 и GSM-1800 .....	82
6.4. Технология передачи данных в сети стандарта GSM.....	84

6.5. Выполнение ортогонального кодирования с использованием функций Уолша.....	88
Задание №5.....	94
Задание №6.....	97
<b>Литература.....</b>	<b>99</b>
<b>Дополнительная литература.....</b>	<b>100</b>

## Введение

При изучении телекоммуникационных сетей необходимо знать особенности их развития на современном этапе и их место в народном хозяйстве страны.

1. *Телекоммуникационные сети* в масштабах страны являются непрерывно развивающейся системой. При этом одним из основных требований к новым подсистемам является их способность взаимодействовать с существующими подсистемами без внесения изменений в последние. Так, цифровые системы коммутации и передачи взаимодействуют с аналоговыми системами, подсистемы с коммутацией пакетов взаимодействуют с подсистемами с коммутацией каналов и т. д.

2. Имеет место ускоряющийся процесс интеграции информационных и коммуникационных технологий, что приводит к новому качеству – к *инфокоммуникациям*. Так, виртуальная АТС по назначению является коммуникационной системой, а по реализации – информационной.

3. На современном этапе развития телекоммуникаций важной особенностью является *активное их внедрение во все сферы деятельности общества*. Инфокоммуникации являются одним из основных средств, обеспечивающих взаимодействие технологий физического и биологического блоков при решении задач четвертой промышленной революции. Роль телекоммуникаций в развитии экономики в нашей стране отражена в программе «Цифровая экономика Российской Федерации», утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

4. Основной стратегией внедрения новых инфокоммуникационных средств на существующих сетях в нашей стране является *стратегия наложения*. В этих условиях специалисты по телекоммуникациям должны знать не только новые технологии, но уверенно владеть существующими на сетях технологиями для наиболее эффективного их сопряжения.

5. Основной тенденцией Будущих сетей является виртуализация средств, сетей, услуг.

С учётом этих особенностей развития телекоммуникаций в настоящем пособии наряду с изучением перспективных технологий изучаются принципы построения и функционирования существующих сетей связи.

В пособии рассмотрены с учётом рекомендаций Международного союза электросвязи и документов Минкомсвязи России отдельные аспекты таких технологических подсистем системы электросвязи Российской Федерации, как архитектура сетей с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов, системы нумерации, системы сигнализации, системы тактовой сетевой синхронизации, а также сети подвижной сотовой связи (СПСС).

## 1. Сети фиксированной телефонной связи

### 1.1. Принципы построения городских телефонных сетей

Городские телефонные сети (ГТС) в XX веке строились с использованием технологии коммутации каналов (КК). При этом от исходящего оконечного устройства (ОУ), в рассматриваемом случае это телефонный аппарат (ТА), к входящему ТА устанавливается соединение на все время сеанса связи.

Канал связи на время сеанса остается занятым, даже если сообщение по нему не передается. Между ТА организуется аналоговый, составной аналогово-цифровой или цифровой канал связи.

Аналоговый канал с фиксированной полосой частот  $\Delta f = 0,3 \div 3,4$  кГц называется *каналом тональной частоты* (ТЧ).

Цифровой канал с фиксированной скоростью передачи  $v = 64$  кбит/с называется *основным цифровым каналом* (ОЦК). Составной аналогово-цифровой канал связи образуется путем последовательного соединения каналов ТЧ и ОЦК.

Основным достоинством технологии КК является возможность передачи сообщений в режиме реального времени без задержек.

Основные недостатки технологии КК:

- ниже, по сравнению с технологией коммутации пакетов (КП), пропускная способность каналов;
- невозможность в течение одного сеанса связи динамически изменять ширину полосы частот или скорость передачи, что необходимо при передаче мультимедийных сообщений.

По структуре различают следующие типы ГТС [1]:

- нерайонированные;
- районированные без узлов;
- районированные с одним узлом в соединительном тракте;
- районированные с двумя узлами в соединительном тракте.

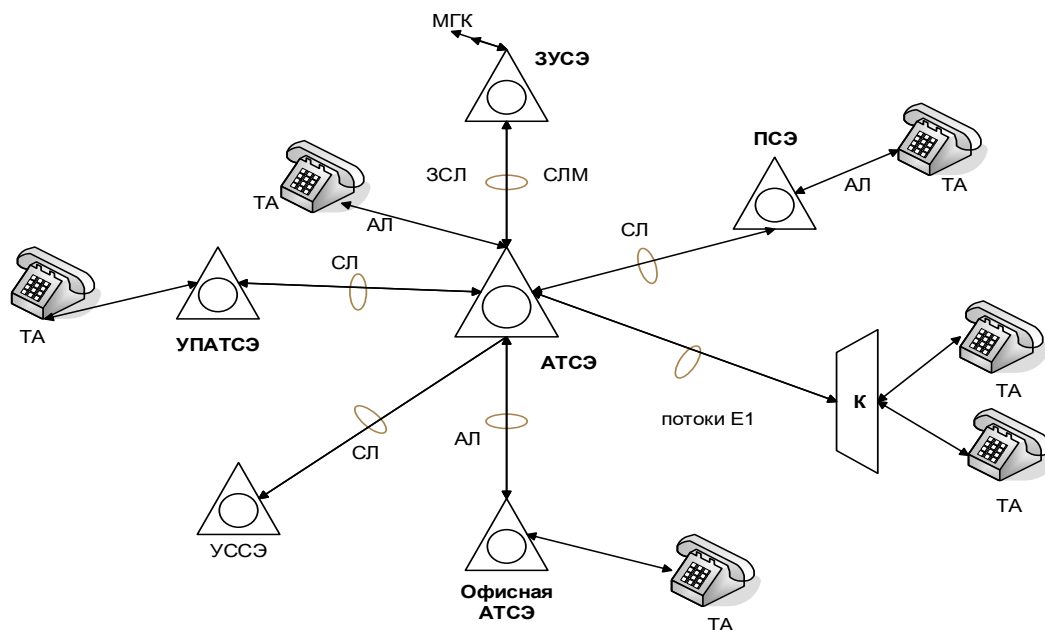
На ГТС средняя величина интенсивности суммарной исходящей и входящей нагрузки в час наибольшей нагрузки (ЧНН) по одной абонентской линии (АЛ) составляет  $0,1 \div 0,15$  Эрл, т.е. в течение часа наибольшей нагрузки одна АЛ занимается по исходящей и входящей связи в среднем всего на  $6 \div 9$  минут. Интенсивность нагрузки в 1 эрланг (Эрл) представляет собой непрерывную занятость одной линии в течение одного часа [2].

Среднее использование соединительной линии (СЛ) обычно находится в пределах  $0,6 - 0,8$  Эрл. Для сохранения приемлемого качества обслуживания при случайных всплесках нагрузки среднее использование СЛ на действующей сети в ЧНН не должно превышать  $0,8$  Эрл. При проектировании –  $0,7$  Эрл. При росте интенсивности нагрузки в ЧНН для сохранения качества обслуживания число СЛ необходимо увеличивать.

## 1.2. Нерайонированные ГТС

В посёлке городского типа с компактной территорией может строиться всего одна АТС и ГТС называется *нерайонированной* (рис.1.1).

Для сокращения длины абонентских линий на ГТС применяются концентраторы (К), подстанции (ПС), учрежденческо-производственные АТС (УПАТС). Выход за пределы ГТС осуществляется через зонный узел связи (ЗУС). Выход к специальным (экстренным) службам 101, 102, 103, 104 осуществляется через узел специальных служб (УСС).



Обозначения:

АТС – автоматическая телефонная станция; ЗУС – зонный узел связи;

УПАТС – учрежденческо-производственная АТС; ПС – подстанция;

УСС – узел специальных служб; К – концентратор; ТА – телефонный аппарат;

АЛ – абонентская линия; СЛ – соединительная линия; МГК – междугородный ка-

нал;

СЛМ – соединительная линия междугородная; ЗСЛ – заказно-соединительная ли-

ния.

Рис. 1.1. Схема нерайонированной ГТС

## 1.3. Районированные ГТС без узлов

При емкости ГТС более 7-8 тыс. номеров обычно применяется районирование, т.е. территория города делится на телефонные районы, в каждом из которых строится районная АТС. При этом сокращается средняя протяженность АЛ. Соединительные линии (СЛ) межстанционной связи имеют более высокое среднее использование (0,6 - 0,8 Эрл) по сравнению с АЛ (0,1 - 0,15 Эрл).

Между собой АТС обычно связываются по полносвязной схеме («каждая с каждой»). Такие сети называются *районированными без узлов* (рис.1.2). Оценим среднее использование одной соединительной линии (СЛ)

между АТС на такой ГТС. Пусть емкость проектируемой ГТС равна 70 тыс. номеров, емкость каждой АТС – 10 тыс. номеров, т.е. на ГТС всего 7 АТС.

Нумерация абонентских линий в этом случае пятизначная  $x_1x_2x_3x_4x_5$ ;  $x_1 \neq 1, 0, 8$ . Первая цифра номера (за исключением цифр 1, 0, 8) – код АТС. Между аналоговыми АТС обычно организуются линии одностороннего занятия. Между цифровыми АТС при использовании сигнализации по общему каналу (ОКС-№7) используются СЛ двустороннего занятия, т.е. по одной соединительной линии передаётся исходящая и входящая нагрузки.

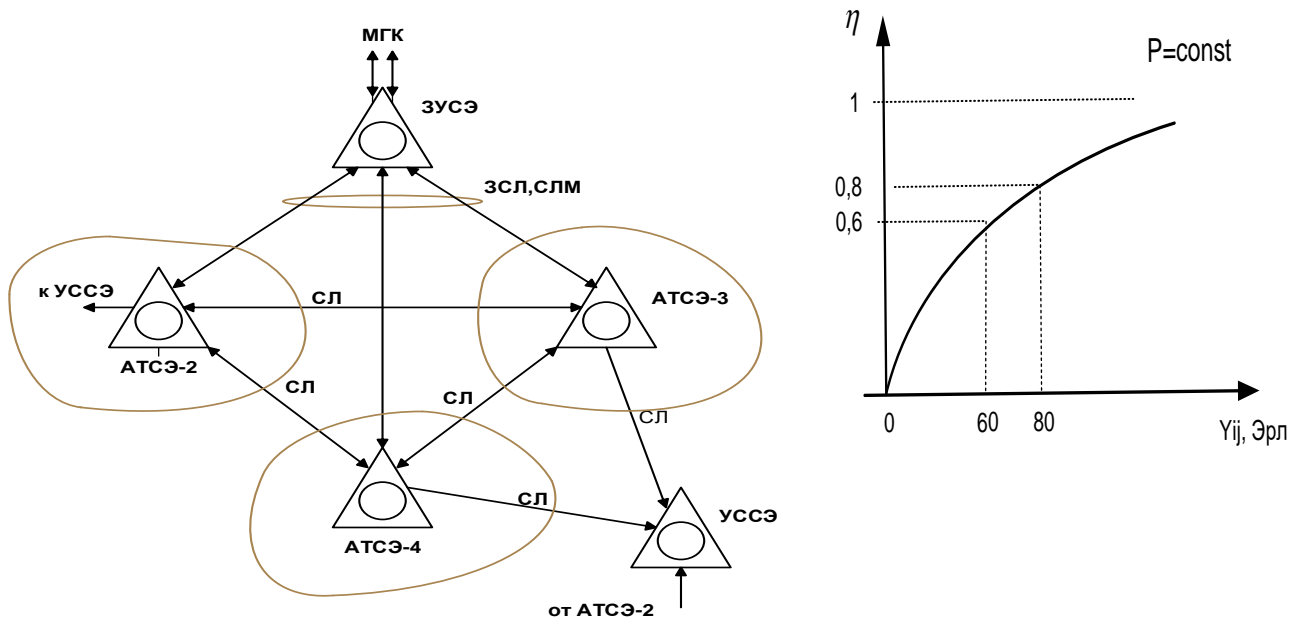


Рис.1.2. Схема районированной ГТС без узлов

Пусть средняя исходящая от одного абонента АТС нагрузка в ЧНН равна  $a_{исх} = 0,05$  Эрл. Тогда от всех абонентов одной АТС интенсивность исходящей нагрузки составит  $A_{исх} = 0,05 \cdot 10\,000 = 500$  Эрл. Для простоты рассуждений будем считать, что эта нагрузка распределяется равномерно между всеми АТС. Тогда интенсивность нагрузки на пучок исходящих межстанционных СЛ от АТС<sub>i</sub> к АТС<sub>j</sub> составит  $Y_{ij} = A_{исх} / 7 = 500/7 \approx 70$  Эрл (внутристанционная нагрузка обычно больше межстанционной).

При допустимой величине потерь сообщений на пучке СЛ между АТС  $P_{ij}=1\%$  число СЛ по таблицам первой формулы Эрланга  $\nu_{ПД} = 85$ , а среднее использование одной СЛ в полнодоступном пучке с односторонним занятием линий составит:

$$\eta_{дв} = \frac{70 * 0,99}{85} = 0,81 \text{ Эрл}$$

В пучке с двусторонним занятием линий интенсивность нагрузки на пучок удваивается  $Y_{дз} = Y_{ij} + Y_{ji} = 140$  Эрл. Число СЛ  $\nu_{дз} = 159$ , среднее использование СЛ

$$\eta_{дв} = \frac{140 * 0,99}{159} = 0,87 \text{ Эрл.}$$



Во избежание перегрузки СЛ при случайных колебаниях интенсивности нагрузки предельное среднее использование СЛ в пучке в соответствии с рекомендацией Q.543 Международного союза электросвязи (МЭС-Т) при проектировании не должно превышать значения  $\eta_{np} \leq 0,7$  Эрл. Поэтому в рассматриваемом случае число СЛ в пучке двустороннего занятия должно рассчитываться путем деления интенсивности нагрузки, обслуженной пучком линий двустороннего занятия  $Y_{об}$ , на величину предельно допустимого использования одной линии  $\eta_{np} \leq 0,7$  Эрл

$$v_{дв} = \frac{Y_{об}}{\eta_{np}} = \frac{140 * 0,99}{0,7} = 198.$$

Сравните: 159 и 198!

Как видно из этой оценки, среднее использование СЛ в 6 – 7 раз выше среднего использования АЛ (двухпроводная АЛ является линией двустороннего занятия).

Емкость цифровых АТСЭ может достигать нескольких десятков тысяч номеров. При прочих равных условиях с ростом емкости АТС растет интенсивность нагрузки, поступающей на пучки СЛ межстанционной связи. Поэтому полносвязная схема в цифровых ГТС с коммутацией каналов может быть экономически оправданной при емкости ГТС в несколько сот тысяч номеров.

#### 1.4. Районированные ГТС с одним узлом в соединительном тракте

В предположении равномерного распределения нагрузки между всеми АТС интенсивность нагрузки, поступающей на пучок СЛ одностороннего занятия при полносвязной схеме связи всех АТС, составит  $y_{ij} = 500/70 \approx 7$  Эрл.

В полнодоступном пучке двустороннего занятия при  $Y_{об} = 14$  Эрл число линий  $V_{дв} = 23$ ,

$$\eta_{дв} = \frac{14 * 0,99}{23} = 0,6 \text{ Эрл.}$$

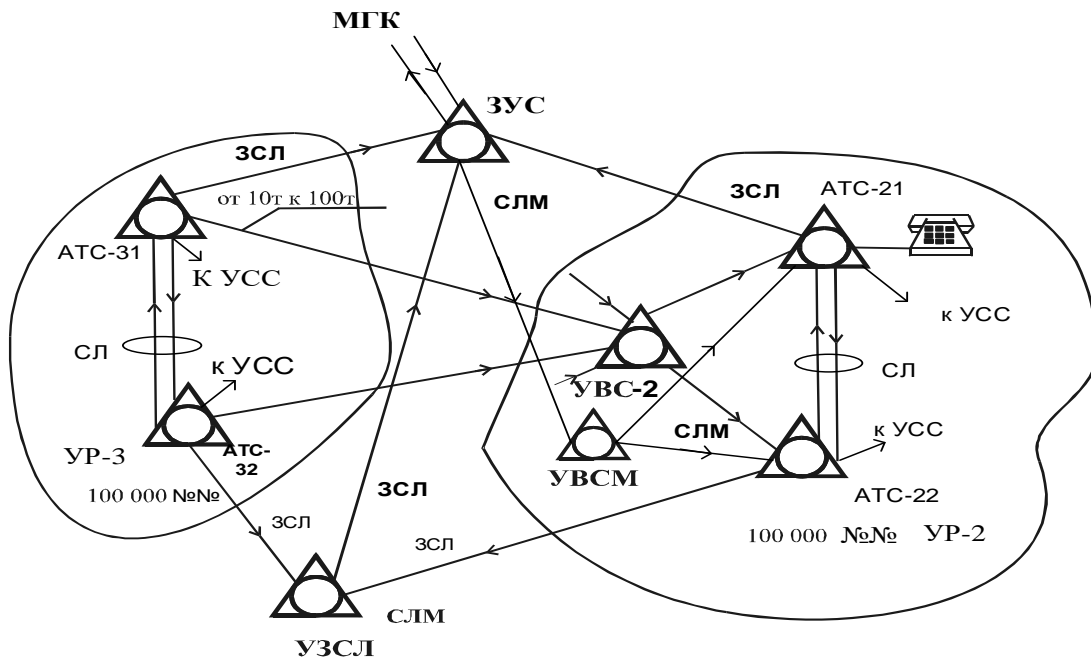
Относительно низкое среднее использование СЛ для ГТС такой емкости делает экономически не оправданным применение полносвязной схемы связи всех АТС сети.

В ГТС емкостью свыше 70 тыс. номеров применяется узлообразование, применяются *узлы входящих сообщений* (УВС). Сеть делится на узловые районы (УР), емкость нумерации которых составляет до 100 тыс. номеров. Номер узлового района однозначный – это первая цифра абонентского номера. В каждом районе может находиться до 10 АТС, номер АТС – двухзначный (первая цифра – номер УР, вторая – номер АТС в данном районе). При этом нумерация на сети шестизначная. Максимальная емкость сети в этом случае – 700 тыс. номеров. Так как максимальная емкость АТС – 10 тысяч, то число АТС на сети составит 70.

АТС, расположенные на территории одного узлового района, обычно связываются по полносвязной схеме, а связь к АТС других узловых районов организуется через УВС (рис. 1.3). На этой схеме узел входящих сообщений показан только в узловом районе УР-2, т.е. рассматривается связь от АТС УР-3 к АТС УР-2. В обратном направлении читателю предлагается схему дорисовать самому.

Легко рассчитать, что в предположении равномерного распределения нагрузки от АТС к семи узловым районам интенсивность нагрузки на направлении АТС – УВС составит порядка 70 Эрл и среднее использование СЛ приближается к максимально допустимому. Пучок СЛ от АТС к УВС обслуживает сообщения от 10 тыс. абонентов к 100 тыс. На ГТС емкостью от 70 тыс. номеров и до 700 тыс. номеров используется шестизначная нумерация абонентских линий:  $x_1x_2x_3x_4x_5x_6$ .

По первой цифре абонентского номера выбирается группа абонентов по нумерации емкостью 100 тысяч номеров. Код УВС – однозначный. По второй цифре выбирается абонентская группа емкостью 10 тыс. номеров. Код АТС – двузначный.



Обозначения:

**УВС** – узел входящих сообщений; **УР** – узловой район;

**УВСМ** – узел входящих сообщений междугородный; **ЗСЛ** – заказно-соединительные линии;

**УЗСЛ** – узел заказно-соединительных линий; **УСС** – узел специальных служб;

**СЛМ** – соединительные линии междугородные.

Рис. 1.3. Схема районированной ГТС с УВС

### 1.5. Районированные ГТС с двумя узлами в соединительном тракте

Для повышения среднего использования СЛ на ГТС сеть строится с двумя узлами в соединительном тракте.

Максимальная емкость сети с УИС и УВС может составлять до 7 миллионов номеров. Нумерация на сети - семизначная. При этом сеть делится на миллионные зоны нумерации. На ГТС может быть до семи миллионных зон нумерации.

Рассмотрим общие принципы построения межстанционных связей ГТС с УИС и УВС:

1. Ёмкости АТС по нумерации должны быть кратны 10 тыс. номеров.
2. Ёмкости узловых районов должны быть кратны 100 тыс. номеров.
3. В соединительном тракте должно быть не более одного перехода с одной системы сигнализации на другую.
4. Цифровые АТСЭ должны образовывать цифровые узловые районы по принципу наложения.
5. Между цифровыми АТСЭ соединительный тракт должен быть цифровым, т.е. он не должен содержать аналоговых участков.
6. При связи аналогового коммутационного оборудования с цифровым аналого-цифровые преобразователи должны устанавливаться на стороне аналогового оборудования.
7. В цифровые коммутационные станции и узлы должны включаться цифровые СЛ.

Отдельной проблемой является построение сетей крупных мегаполисов. В мегаполисах создаются мощные транспортные сети. На рис. 1.4 показано построение сети мегаполиса с помощью стратегии наложения. На рисунке показано, что ОПТС и транзитные узлы включаются в транспортные шлюзы, при этом сигнальные каналы ОКС№7 включаются в сигнальные шлюзы. Часть абонентов включается в абонентские шлюзы *MSAN*. Все шлюзы подключаются в транспортную пакетную сеть и управляются подсистемой передачи мультимедийных сообщений (*IMS - IP Multimedia Subsystem*).

На сети доступа абонентские линии строятся с использованием медных телефонных кабелей типа ТПП – телефонные с полиэтиленовой изоляцией и в полиэтиленовой оболочке (табл. 1.2). Транспортная сеть мегаполиса строится на базе оптических кабелей связи, на канальном уровне широкое применение находит технология *Ethernet* [30].

При проектировании сети межстанционной связи среднее использование соединительных линий в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т не должно превышать 0,7 Эрл. В процессе эксплуатации сети межстанционной связи среднее использование соединительных линий допускается 0,8 Эрл.



## 1.6. Оборудование сетей NGN

В сети NGN управление вызовами осуществляется централизованно с помощью программного коммутатора или контроллера медиашлюзов (MGC). Широкое распространение получила мультимедийная подсистема на базе протокола IP – IMS (*IP Multimedia Subsystem*) [].

К оборудованию сети доступа относятся терминальное оборудование и различные шлюзы.

**Шлюз (Gateway)** это устройств, которое преобразует информацию из одного стека протоколов в другой, в нем происходит преобразование пользовательской и сигнальной информации в пакетный вид на базе стека протоколов TCP/IP, пригодный для передачи в транспортной сети NGN, а также обратное преобразование.

**Медиа шлюз MGW (Media Gateway)** необходим для включения соединительных линий от существующих цифровых телефонных станций для сопряжения с сетью NGN по первичным потокам E1.

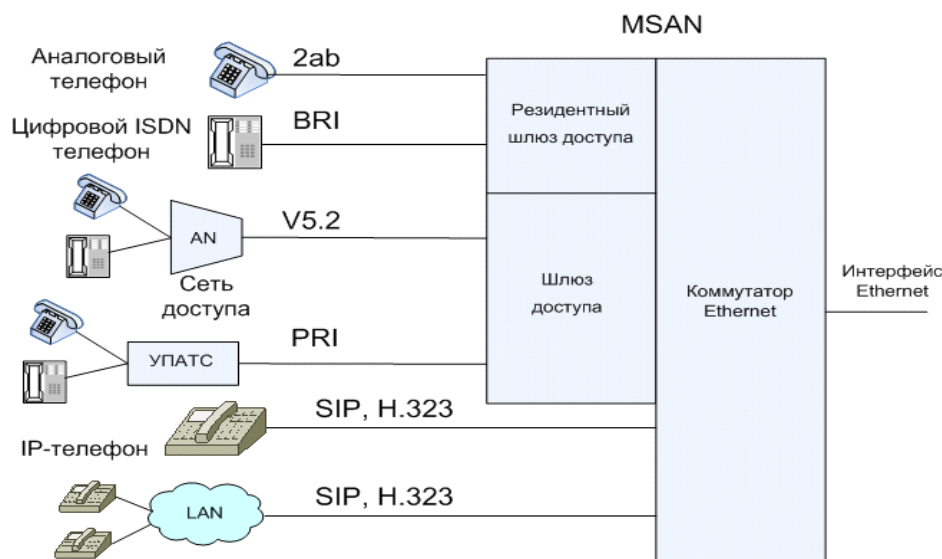
**Шлюз сигнализации SGW (Signaling Gateway)** служит для преобразования сигнальных протоколов и прозрачной доставки сигнальных сообщений из сетей ISDN/PSTN в пакетную сеть и обратно. Он транслирует сигнальную информацию через сеть IP контроллеру медиашлюзов или другим шлюзам сигнализации.

MGW и SGW могут объединяться в одно устройство, в этом случае это будет транкинговый шлюз TGW (*Trunking Gateway*).

**Резидентный шлюз доступа RAGW (Resident Access Gateway)** служит для непосредственного включения аналоговых абонентских линий, в которые включаются традиционные телефонные аппараты, аналоговые модемы, факсимильные аппараты, модемы xDSL и цифровые абонентские линии ISDN, к которым подключается терминальное оборудование базового доступа BRI-(*Basic Rate Interface - 2B+D, B-ОЦК, D=16 кбит/с*). RAGW обычно размещаются в непосредственной близости от точек подключения абонентов (затухание абонентской линии не более 6 dB).

**Шлюзы доступа - AGW (Access Gateway)** предназначены для включения сетей доступа AN (*Access Network*) через интерфейс V5.2, который может включать от 2 до 16 первичных потоков E1, или для подключения УПАТС через интерфейс первичного доступа PRI (*Primary Rate Interface*) сети ISDN ( $30B+D$ ,  $B=D$  -ОЦК, 64 кбит/с).

Часто конструктивно резидентный шлюз и шлюз доступа реализуются в виде единого мультисервисного узла доступа MSAN (*Multi-Service Access Node*) [3]. В состав такого MSAN обязательно входит пакетный коммутатор Ethernet, в который включаются непосредственно все источники нагрузки, работающие по пакетным технологиям (рис. 1.5).



Обозначения:

**AN** – Access Network – сеть доступа;

**BRI** – Basic Rate Interface – интерфейс доступа на базовой скорости;

**PRI** – Primary Rate Interface – интерфейс доступа на первичной скорости;

**LAN** – Local Area Network – локальная вычислительная сеть;

**MSAN** – Multiservice Access Node – мультисервисный узел доступа;

**SIP** – Session Initiation Protocol – протокол инициирования сеансов связи.

Рис. 1.5. Структура узла доступа *MSAN*

### 1.7. Переход от телефонной сети общего пользования к сетям *NGN* с помощью стратегии создания островов

Сети *NGN* не могут сразу заменить существующие телефонные сети, построенные по технологии коммутации каналов на технологию коммутации пакетов, прежде всего в силу большой стоимости этого перехода. Это означает, что период одновременного сосуществования двух технологий коммутации может быть достаточно продолжительным. В настоящее время на сети имеется большое количество достаточно современного цифрового оборудования (УАК, ЗУС, МЦК, МНЦК, системы передачи *SDH*).

В таких случаях возможен ряд переходов с технологии КК на технологию КП в пределах одного соединения. На рис. 1.6 показан пример соединения, в котором используются четыре перехода с одной технологии на другую. Здесь местные сети (ГТС и СТС) построены на базе цифровых АТС с коммутацией каналов (КК), а междугородняя сеть и сети доступа построены по технологии КП. Очевидно, что качество передачи в такой сети будет невысоким. Такой вывод можно сделать на основе простых оценок задержки речевых сигналов, которая будет происходить в каждом фрагменте сети связи, использующим технологию КП. Эта стратегия не имеет особой практической ценности, так как при ее использовании в сети невозможно обеспечить требуемые показатели качества обслуживания. Единственное преимущество этой стратегии - простота.



Рис. 1.6. Стратегия островов

### 1.8. Переход от ГТС к NGN с помощью стратегии наложенной сети

Существуют два основных подхода к построению наложенной сети NGN.

**Первый подход** - реконструкция сети, начиная с *транзитного уровня*, путем замены транзитных станций (ТС), опорно-транзитных станций (ОПТС) или ЗУС на программные коммутаторы, что в западной терминологии соответствует узлам 4-го класса (рис. 1.7).

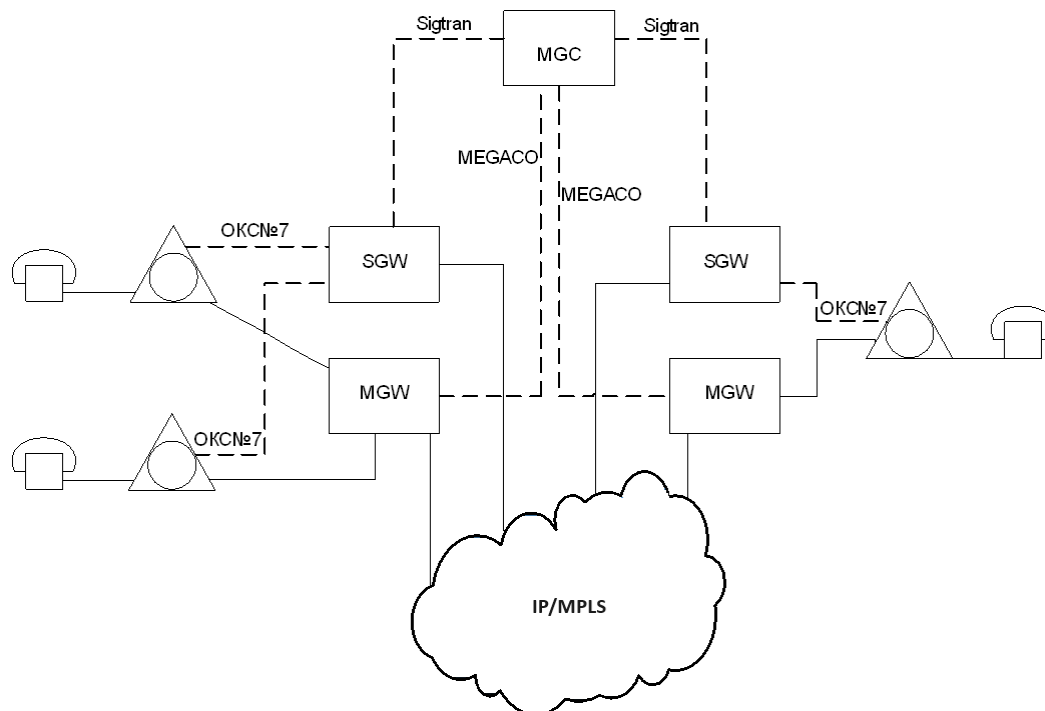


Рис. 1.7. Сеть NGN на базе MGC 4-го класса

При создании городской и междугородней сети *IP/MPLS* весь городской и междугородний трафик переводится на эту сеть. В сценарии предполагается, что АТС сохраняются в качестве концентраторов абонентского трафика. Если в городе отсутствуют абоненты *VoIP*, то программный коммутатор работает только в режиме управления шлюзами (*MGC – Media Gateway Controller*). Такое решение принято называть построением сети NGN на базе *MGC Class 4*.

**Второй подход** перехода к сети NGN на базе *MGC* класса 5 (рис. 1.8) связан с необходимостью масштабной замены многих АТС.

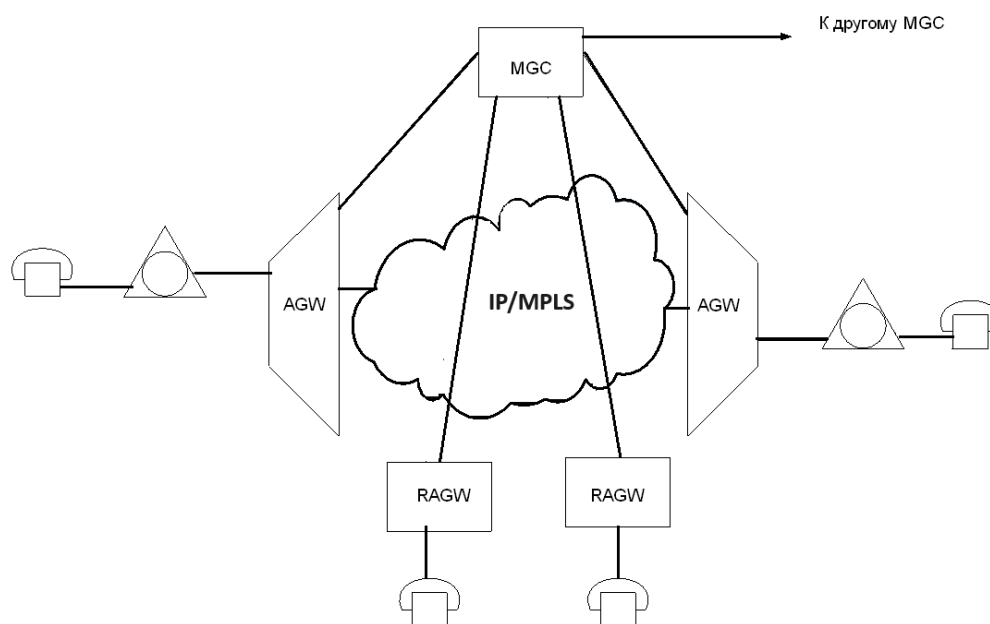


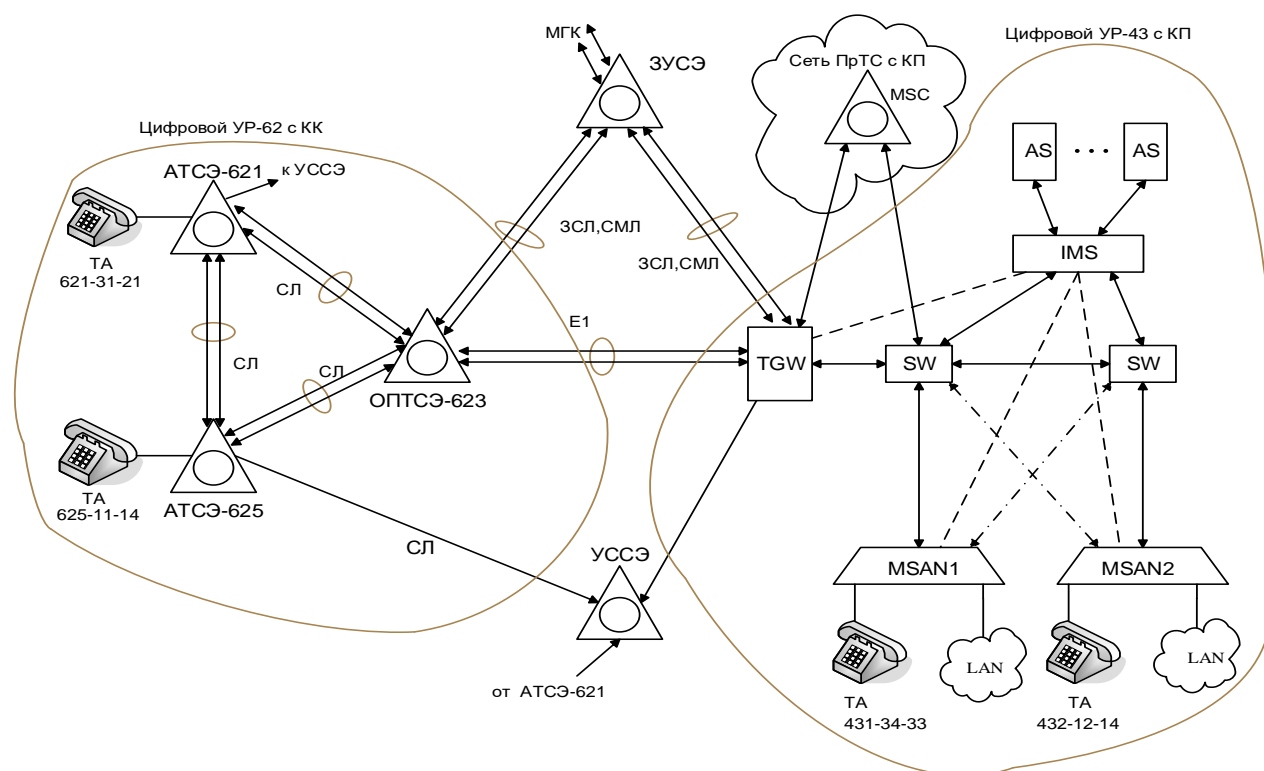
Рис. 1.8. Сеть *NGN* на базе *MGC* 5-го класса

Он требует высокого уровня начальных инвестиций на строительство новой опорной транспортной сети *IP/MPLS*, а также на развитие широкополосной сети доступа. При этом реконструкция сети начинается с АТС, которые заменяются на резидентные шлюзы доступа. Чем больше опорных АТС заменяется одновременно, тем меньше будут удельные затраты на порт, поскольку для всех медиашлюзов можно использовать один программный коммутатор. Такое решение принято называть построением сети *NGN* на базе *MGC Class 5*.

На рисунке 1.9 приведен фрагмент модернизированной ГТС с двумя узлами в соединительном тракте. При этом на сети имеется две миллионные зоны: шестая и четвертая. На схеме показан 62 УР и 43 УР. 62 УР построен по технологии с КК, а УР - 43 по технологии с КП.

В цифровом узловом районе с коммутацией каналов вместо УИС и УВС устанавливается опорно-транзитная станция (ОПТС), выполняющая функции опорной АТС и узлов исходящих и входящих сообщений. Узел исходящих сообщений объединяет потоки сообщений от всех АТС «своего» узлового района и распределяет их по направлениям к узлам входящих сообщений других узловых районов. Пучок соединительных линий между узловыми районами обслуживает сообщения от группы абонентов емкостью 100 тысяч к группе абонентов емкостью 100 тысяч, что обеспечивает среднее использование одной межузловой СЛ 0,7 – 0,8 Эрл.





Обозначения:

**ОПТСЭ** – опорно-транзитная цифровая станция. Выполняет функции узлов исходящих и входящих сообщений и опорной цифровой АТС с коммутацией каналов;  
**ЗУСЭ** – зональный узел связи цифровой с коммутацией каналов;  
**ЗСЛ** – заказно-соединительные линии; **МГК** – междугородные каналы;  
**УССЭ** – узел специальных служб цифровой с коммутацией каналов; **УР** – узловой район;  
**ПРТС** – подвижная радиотелефонная связь; **СЛ** – соединительные линии;  
**СЛМ** – соединительные линии междугородной связи; **ТА** – телефонный аппарат;  
**TGW** – *Trunking gateway* – транкинговый шлюз, совмещает функции медиа и сигнального шлюзов; **AS** – Application Server – сервер приложений;  
**MSC** – *Mobile Switching Center* – центр коммутации мобильной связи;  
**IMS** – *IP Multimedia Subsystem* – подсистема мультимедийной связи на базе протокола IP;  
**LAN** – *Local Area Network* – локальная вычислительная сеть; **SW** – Switch – коммутатор.  
**MSAN** – *Multiservice Access Node* – мультисервисный узел доступа.

Рис. 1.9. Фрагмент районированной ГТС с двумя узлами в соединительном тракте

При установлении соединения по первой цифре абонентского номера выбирается миллионная группа абонентов. Оборудование АТС по первой цифре номера выбирает пучок СЛ к ОПТС, выполняющей функции *узла исходящих сообщений*. Пучок СЛ между АТС и ОПТС в этом случае обслуживает исходящее сообщение от 10 тыс. абонентов АТСЭ к одному миллиону абонентов.

Оборудование ОПТС по второй цифре номера выбирает пучок СЛ к УВС (ОПТС) другого узлового района, или к шлюзу *TGW*, обслуживающему входящие сообщения от 100 тыс. абонентов узлового района, в котором расположена исходящая ОПТС, к 100 тыс. абонентов узлового района, в кото-

ром расположен УВС (ОПТС или *TGW*). Узел входящих сообщений собирает сообщения от абонентов всей сети, кроме абонентов своего узлового района. По третьей цифре номера выбирается направление связи от УВС к АТСЭ входящего УР.

Число СЛ на направлении от УВС к АТСЭ при полноступном их включении обычно рассчитывается путем деления интенсивности поступающей нагрузки на предельное среднее использование СЛ – 0,7 Эрл.

В УР - 43 абоненты включаются в *MSAN*. Для связи с оборудованием с коммутацией каналов устанавливаются транкинговые шлюзы *TGW*, в которые включаются потоки *E1*. В узловом районе на транспортном уровне устанавливаются коммутаторы *SW* (*Switch* – переключатель).

Управление оборудованием с коммутацией пакетов осуществляется мультимедийной подсистемой на базе протокола *IP – IMS* (*IP Multimedia Subsystem*).

На ГТС большой ёмкости на транспортном уровне используется технология *IP/MPLS*. Коммутаторы в узловом районе выполняют функции агрегации трафика, а в ядре транспортной сети устанавливаются маршрутизаторы.

### Задание №1

1. Используя исходные данные в табл. 1.1, изобразить структурную схему фрагмента ГТС. На схеме показать два узловых района, в каждом - по две АТС (*MSAN*). Станции, расположенные в одном узловом районе (УР), соединить прямыми пучками линий. В цифровом УР с коммутацией каналов установить ОПТСЭ. Каждую АТСЭ связать с цифровым зональным узлом связи (ЗУСЭ) и с узлом специальных служб (УССЭ). В каждую АТСЭ (*MSAN*) включить по одному телефонному аппарату (ТА).

2. Записать нумерацию всех ТА проектируемой сети по миллионным группам нумерации. На приведенной схеме присвоить номера телефонным аппаратам, коды всем АТСЭ (*MSAN*) и УР. Для любого участка соединительного тракта уметь рассчитать емкости исходящей и входящей абонентских групп, вызовы между которыми обслуживаются пучком СЛ на рассматриваемом участке.

3. На схеме показать допустимую величину потерь сообщений на всех участках сети при связи трех ТА между собой. Рассчитать суммарную величину потерь сообщений между телефонными аппаратами, изображенными на схеме.

На рис. 1.10 приведены допустимые нормы потерь сообщений от абонента до абонента для вновь проектируемых сетей [4].

4. На схеме ГТС измерить протяженность всех абонентских линий в сантиметрах и перевести в километры, принимая масштаб 1 см = 1 км.

Для всех приведенных на схеме абонентских линий выбрать такой тип городского кабеля, чтобы выполнялось условие

$$l_{ij} \alpha_k \leq 6 \text{ дБ}, \quad (1.1)$$

где  $l_{ij}$  - протяженность АЛ на участке  $ij$  в километрах;

6 дБ - допустимая норма затухания АЛ;

$\alpha_k$  - километрическое затухание  $k$ -го кабеля в дБ/км (таблица 1.2).

Распределение норм затухания на ГТС в децибелах (дБ) приведено на рис. 1.11 [4].

Как видно из рис. 1.11, при включении АЛ в цифровые АТСЭ (MSAN) собственное затухание АЛ на частоте 1000 Гц не должно превышать 6 дБ.

Километрическое затухание городских телефонных кабелей типа ТПП приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.1. Исходные данные для выполнения задания

№№ пп	Емкость ГТС, млн. номеров	Коды MSAN	Коды АТСЭ
1	1	221, 222	451, 455
2	1,1	241, 243	411, 412
3	1,2	232, 235	311, 315
4	1,3	271, 275	421, 425
5	1,4	253, 251	321, 322
6	1,5	211, 212	521, 523
7	1,6	231, 232	341, 345
8	1,7	311, 318	431, 435
9	1,8	481, 483	631, 633
10	1,9	385, 383	511, 512
11	2,0	214, 213	331, 335
12	2,1	321, 325	941, 942
13	2,2	433, 431	723, 725
14	2,3	331, 335	618, 613
15	2,4	452, 451	525, 527
16	2,5	441, 442	251, 255
17	2,6	221, 223	431, 435
18	2,7	472, 475	621, 623
19	2,8	412, 415	421, 425
20	2,9	491, 492	632, 635
21	3,0	411, 413	331, 335
22	3,1	433, 431	617, 619
23	3,2	453, 451	634, 635
24	3,3	233, 231	445, 447
25	3,4	362, 368	531, 535
26	3,5	431, 432	651, 655
27	3,6	441, 443	661, 664
28	3,7	511, 513	671, 673
29	3,8	421, 426	683, 685
30	3,9	215, 213	691, 694

*Примечание:* принять емкость по нумерации каждой АТСЭ и MSAN – 10 тыс. номеров, каждого УР – 100 тыс. номеров.

Таблица 1.2. Километрическое затухание телефонных кабелей типа ТПП

№ п/п	Диаметр жил кабеля типа ТПП, мм	Километрическое затухание, дБ/км, на $f=1000$ Гц
1.	0,4	1,54
2.	0,5	1,23
3.	0,7	0,72

### Контрольные вопросы

1. Назовите полосу частот канала тональной частоты (ТЧ) и скорость передачи основного цифрового канала (ОЦК).
2. Назовите основные достоинства и недостатки технологии коммутации каналов и технологии коммутации пакетов.
3. Назовите предельное допустимое среднее использование СЛ.
4. С какой целью применяется на ГТС районирование?
5. Назовите основные принципы проектирования сети межстанционных связей цифровых ГТС с двумя узлами в соединительном тракте.
6. Попытайтесь обосновать каждый из принципов проектирования и построения цифровых ГТС.
7. Поясните, с какой целью на ГТС применяются концентраторы, подстанции, учрежденческо-производственные АТС?
8. Поясните последовательность передачи цифр абонентского номера и способы их кодирования при передаче на различных участках соединительного тракта цифровой ГТС.
9. Перечислите и обоснуйте основные принципы цифровизации местных телефонных сетей связи при использовании стратегии наложения.
10. Поясните, почему на аналоговых сетях максимально допустимое затухание абонентских линий принято 5 дБ, а на цифровых – 6 дБ?
11. Назовите типы шлюзов на сети с коммутацией пакетов и их основные функции.
12. Поясните функции сигнального шлюза.
13. Назовите максимально допустимую величину потерь сообщений на ГТС от абонента до абонента.
14. Поясните, почему нумерация абонентских линий не может начинаться с 1,0 и 8?
15. Назовите максимальную емкость ГТС с семизначной нумерацией.
16. Опишите функции ОПТС.
17. Для чего на ГТС применяется мультимедийная подсистема IMS?

ГТС – 2% (С пригородной зоной и УПАТС – 2,5%; до экстренных спец. служб – 1%; до не экстренных – 2 или 3%);

СТС – проектируемая – 3%, с проектируемой на существующую – 7%.

ВЗТС – проектируемая – 4%, с проектируемой на существующую – 8%.

МГТС – 10% для абонентов ГТС.

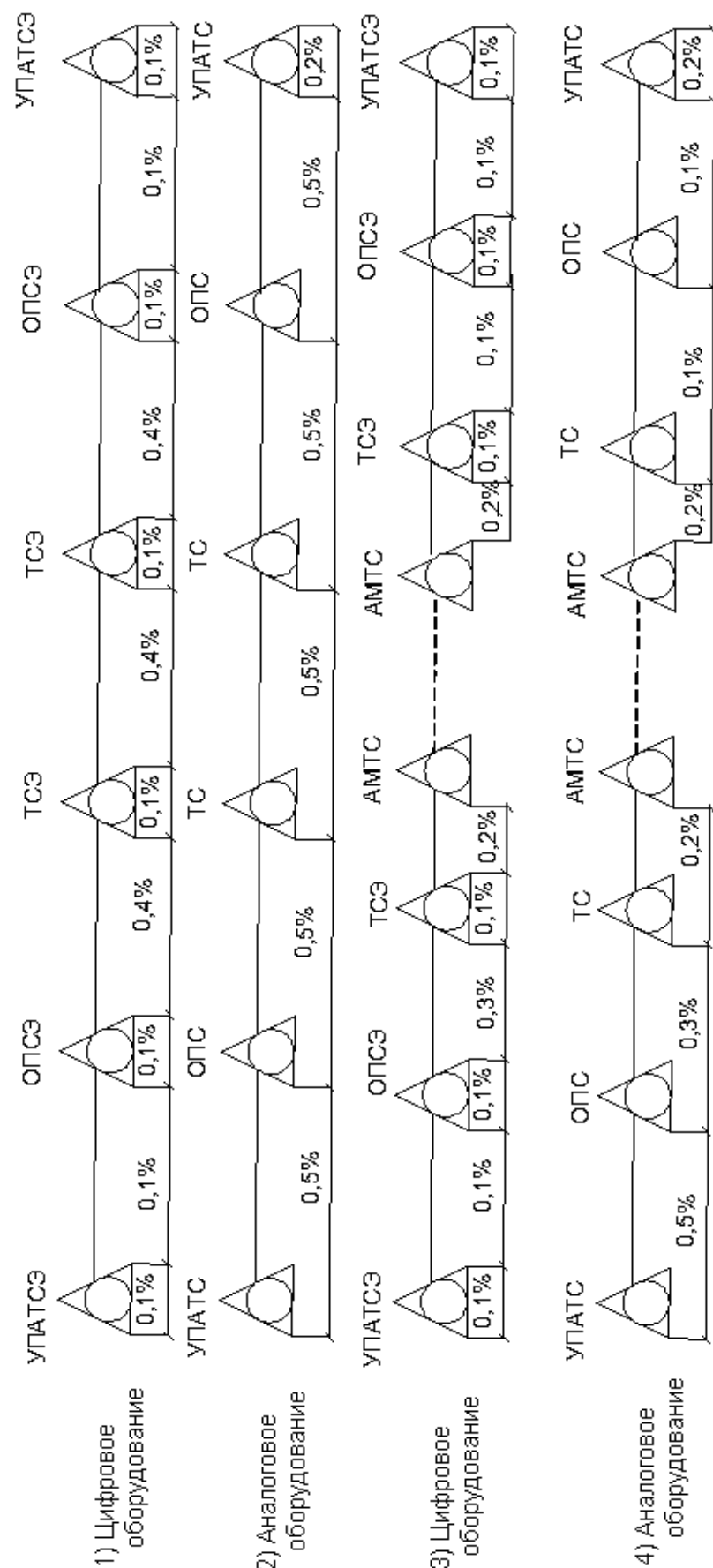


Рис. 1.10. Допустимые нормы потерь сообщений на ГТС

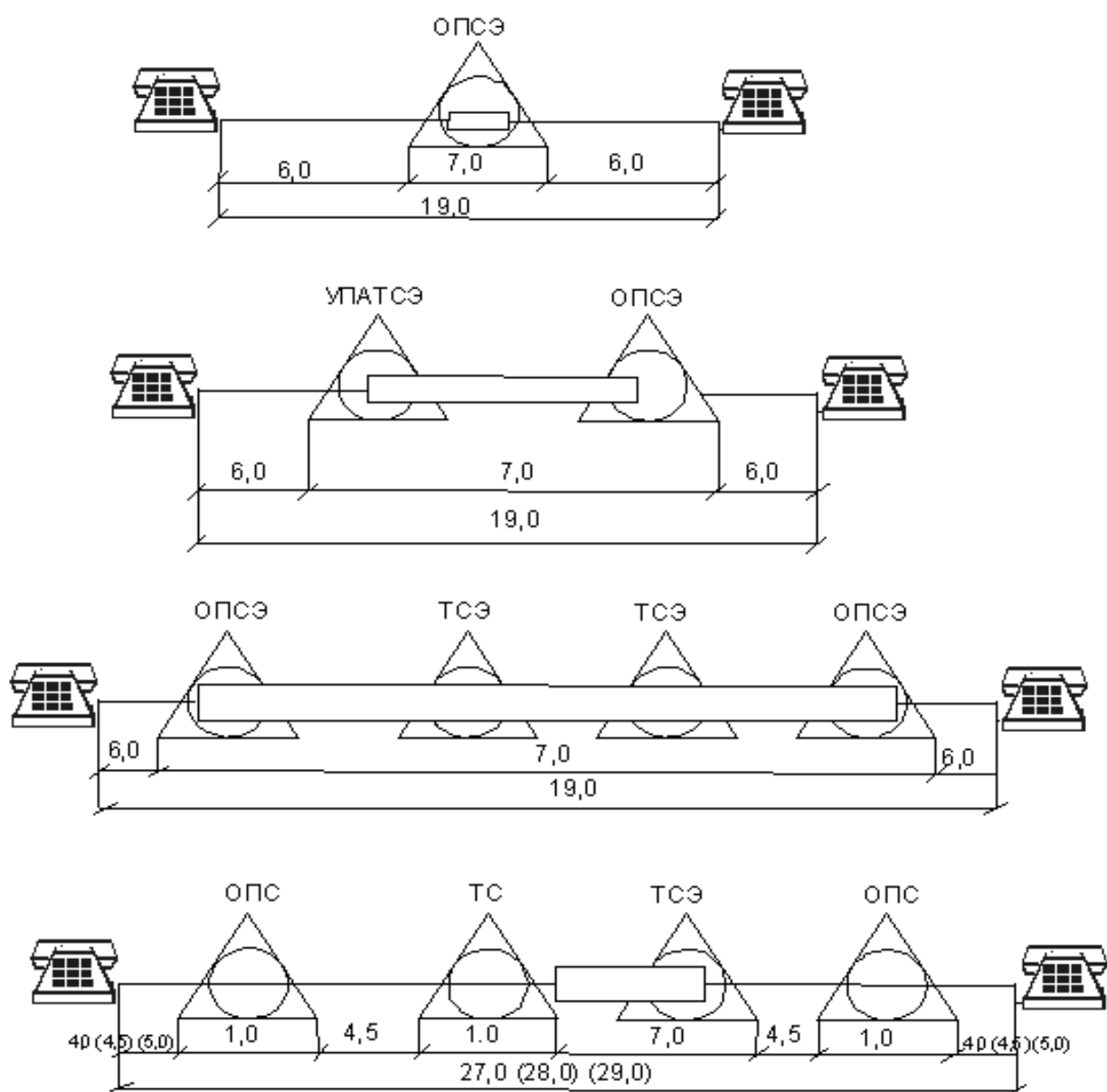


Рис. 1.11. Распределение норм затухания на ГТС, дБ

## 2. Нумерация на телефонной сети связи общего пользования

### 2.1. Рекомендации МСЭ-Т по нумерации на телефонных сетях

При автоматизации междугородной телефонной связи в 1954 году прошлого века Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии – МККТТ (в настоящее время – Международный союз электросвязи - сектор стандартизации телекоммуникаций - МСЭ-Т) принял первые рекомендации по нумерации на телефонных сетях.

В 1964 году при автоматизации международной телефонной связи были приняты рекомендации *E.160-E.163*, в которых прописаны система и план нумерации при автоматической международной телефонной связи. На земном шаре было введено 8 *зон всемирной нумерации* (ЗВН), отличающихся первой цифрой международного телефонного номера [5] (табл.2.1).

Таблица 2.1. Зоны всемирной нумерации

Номер ЗВН	Наименование зон всемирной нумерации	Примеры кодов стран в зонах всемирной нумерации
1	Северная и Центральная Америка	1246 - Барбадос
2	Африка	20 - Египет, 27- ЮАР
3, 4	Европа	30 - Греция, 49 - Германия
5	Южная Америка	51- Перу, 52 - Мексика
6	Австралия и Океания	61 - Австралия, 62 - Индонезия
7	СССР (в настоящее время – РФ и Республика Казахстан)	7 - Российская Федерация и Республика Казахстан
8	Азия и Дальний Восток	81 - Япония, 84 - Вьетнам
9	Азия и Ближний Восток	90 - Турция, 91 - Индия

В этих рекомендациях было определено, что значность международного номера должна состоять, как правило, из 11 цифр, в исключительных случаях – из 12 цифр.

Код страны может быть однозначным –  $\alpha$ , двузначным –  $\alpha\beta$  или трехзначным –  $\alpha\beta\gamma$ . Например, Российская Федерация и Республика Казахстан –  $\alpha = 7$ , Египет –  $\alpha\beta = 20$ , Греция –  $\alpha\beta = 30$ , Чехия –  $\alpha\beta\gamma = 420$ , Гаити –  $\alpha\beta\gamma = 509$  и т.д.

В качестве междугородного префикса рекомендована цифра «0», а международного – «00». В соответствии с рекомендациями *E.123* символ «+» рекомендован для указания того, что требуется международный префикс.

В 1984 г. была принята рекомендация *E.164* – «План нумерации в эпоху ЦСИС (*ISDN*)», при этом нумерация по *E.163* сохранилась. В *E.164* рекомендовано между кодом страны и междугородным номером абонента вставить до четырёх цифр – *национальный код назначения* (код сети

назначения). Международный телефонный номер может содержать до 15 цифр.

В 1996 г. ряд рекомендаций по нумерации были объединены в одну рекомендацию E.164. Расширено понятие «код страны - СС»:

- код страны для **Географических зон** – комбинация одной, двух или трёх цифр, которые идентифицируют конкретную страну, страны в плане сводной нумерации или принадлежность к конкретной географической зоне;

- код страны для **Глобальных услуг** – трёхзначный код, который используется для идентификации глобальной услуги. Например, *Phone800* – услуга бесплатный вызов (*Free*), максимально международный номер глобальной услуги содержит 15 цифр;

- код страны для **Группы стран 388** – общий трёхзначный код страны, который используется в сочетании с кодом идентификации для определения группы стран. Так, для группы стран Европейского союза выделен код идентификации (*IC- Identification Codes*) цифра 3 – 388-3. Дополнительные коды идентификации *IC* будут присваиваться следующим образом:

  - 883 0 – 883 4 – трёхзначные коды идентификации;

  - 883 5 – 883 8 – четырёхзначные коды идентификации

  - 883 9 – для будущего использования кодов *IC* большей длины;

- код страны для **Сетей** – общий трёхзначный код страны, который используется в сочетании с кодом идентификации для определения международной сети. Например, код страны 881 – *Глобальные подвижные спутниковые системы связи*. Далее следуют коды идентификации сети:

  - 0, 1 – для сети Айко; 2, 3 – для сети Эллипсо;

  - 6, 7 – для сети Иридиум; 8, 9 – для сети Глобалстар;

- код страны для **Испытаний 991** – общий трёхзначный код страны, который используется в сочетании с трёхзначным кодом идентификации испытаний для идентификации испытаний новых услуг.

В соответствии с кодами стран рекомендуются международные номера. Длина международных номеров для Географических зон, Глобальных услуг, Сетей и Групп стран не должна превышать 15-ти цифр, не включая международный префикс.

В 1998 г. МСЭ-Т принял рекомендацию E.212. Вместе с *SIM*-картой подвижная станция (телефонная трубка) получает международный номер -15 знаков. Первые три знака – код страны. Для Российской Федерации – 250. Далее следует код сети в стране: 01- ПАО «Мобильные ТелеСистемы»; 02 – ПАО «МегаФон»; 20 – ООО «Т2 РТК Холдинг»; 99 – ПАО «Вымпел-Коммуникации» и т.д. Далее следует десятизначный номер абонента.

В 2000 г. принята рекомендация E.193 – «Расширение кодов стран из E.164». При необходимости предусмотрено использовать 200 четырёхзначных кодов стран, используемых свободные коды 28 (зона всемирной нумерации Африка) и 83 (зона всемирной нумерации Азия и Дальний Восток).

В мире постоянно происходят изменения, обусловленные факторами технологического и политического характера. В этих условиях МСЭ-Т



должен оперативно реагировать на новые вызовы. В рекомендациях *E.164.1*, *E.164.2* и *E.164.3* предусмотрены процедуры и критерии для резервирования, присваивания и отзыва кодов стран и соответствующих идентификационных кодов. В 2006 г. принята рекомендация *E.156* «Руководящие указания для действий МСЭ-Т по доложенным случаям ненадлежащего использования ресурсов номеров *E.164*». Рекомендация *E.164* регулярно пересматривается, последний, шестой выпуск был в 2010 году.

Серии рекомендаций по системам нумерации приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Серии рекомендаций по системам нумерации и адресации

Наименование сетей	Рекомендации
Телефонная сеть связи общего пользования	<i>E.164</i> , <i>E.193</i> , <i>E.156</i>
Сеть сотовой подвижной связи	<i>E.212</i>
Телеграфная сеть	МСЭ-Т серии <i>F</i>
Сети передачи данных	МСЭ-Т серий <i>X</i> и <i>P</i>
Сеть ОКС № 7	МСЭ-Т серии <i>Q</i>
IP-ориентированные сети	<i>RFC 791</i>
Электронная почта	<i>RFC 1591</i>

## 2.2. Российская система и план нумерации на телефонных сетях

Для идентификации оконечных устройств на телефонных сетях Российской Федерации используются следующие номера [6]:

- международный телефонный номер

7 – ABC –  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$ ;

7 – DEF –  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$ ,

где 7 – код страны и одновременно седьмая зона всемирной нумерации для Российской Федерации и Республики Казахстан;

- междугородный телефонный номер

ABC  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$  для географически определяемой зоны нумерации;

DEF  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$  для географически не определяемой зоны нумерации;

- зональный телефонный номер  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$ ;

- местный телефонный номер может включать в себя от 3 до 7 десятичных знаков в зависимости от емкости телефонной сети.

Местный телефонный номер по значности может совпадать с зональным телефонным номером.

Последовательное обозначение кода зоны нумерации и зонального номера образует национальный (значащий) телефонный номер – *Лнац*. Максимальное число десятичных знаков в национальном (значащем) телефонном номере в Российской Федерации равно 10.

Международный союз электросвязи для установления междугородного соединения рекомендует *национальный префикс*  $P_n = 0$ , а для установления международного соединения - *международный префикс*  $P_{mn} = 00$ .

В Российской Федерации в качестве национального префикса использовалась цифра 8, а в качестве международного префикса - 810. В соответствии с приказом Минкомсвязи России от 31.01.2022 №75 «Об утверждении и введении в действие российской системы и плана нумерации» [6] до 2025 г. необходимо осуществить переход на использование при установлении внутризональных и междугородных телефонных соединений на национальный префикс  $P_n=0$ , а при установлении международных телефонных соединений на международный префикс  $P_{mn}= 00$ . Максимальное число цифр в международном номере равно 15 без учёта международного префикса.

***Предоставление услуг международной и междугородной телефонной связи с предварительным выбором оператора.*** При этом окончательному устройству абонента присваивается значение категории окончательного элемента сети связи, соответствующее выбранному оператору междугородной и международной телефонной связи.

В этом случае при установлении *международного соединения* абонент должен последовательно набрать

$P_{mn} K_c N_{нац}$  ,

где  $P_{mn}=00$  – международный префикс;

$K_c=\alpha$ ,  $\alpha\beta$  или  $\alpha\beta\gamma$  – соответственно однозначный, двухзначный или трёхзначный код страны;

$N_{нац}$  – национальный значащий номер.

При установлении *междугородного соединения* абонент набирает

$P_n ABC X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7$ ,

где  $P_n = 0$  – национальный междугородный префикс;

$ABC$  – код географически определяемой зоны нумерации,  $A \neq 0, 1$ .

$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7$  – зональный телефонный номер.

Если соединение устанавливается к абоненту сети подвижной радиотелефонной связи, то вместо кода  $ABC$  набирается  $DEF$  – код географически не определяемой зоны нумерации.

**Выбор абонентом оператора связи при установлении каждого международного или междугородного соединения.** При установлении *международного соединения* после набора междугородного (национального) префикса  $P_n=0$  абонент набирает код доступа  $K_d = 15$ , код выбора сети оператора связи  $XY$  = от 00 до 99, международный префикс  $P_{mn} = 00$ , код страны  $K_c$  и национальный (значащий) номер абонента  $N_{нац}$ .

$P_n K_d XY P_{mn} K_c N_{нац}$  .

Значения кодов выбора сети оператора связи и значения категорий окончательных элементов при международном и междугородном телефонном соединении для некоторых операторов связи приведены в таблице 2.3.

Префиксы и коды выбора сети оператора связи в телефонный номер не включаются.

В случае установления *междугородного* соединения при использовании способа выбора оператора связи при каждом вызове абонент последовательно набирает

$P_n K_d XY P_n N_{\text{нац}}$ ,

где  $P_n=0$  – междугородный префикс;

$XY$  – код выбора оператора связи при международном телефонном соединении от 00 до 99;

$N_{\text{нац}}$  – национальный значащий номер  $ABC X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7$ , где

$ABC$  – код географически определяемой зоны нумерации;

$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7$  – зональный телефонный номер.

Если соединение устанавливается к абоненту сети подвижной радиотелефонной связи, то вместо кода  $ABC$  набирается  $DEF$  – код географически неопределяемой зоны нумерации.

Таблица 2.3. Значения кодов выбора оператора связи и значения категорий оконечного элемента сети связи

Признаки для выбора оператора	Операторы Мг и Мн телефонной связи						Выбор операт. при каждом вызове
	РТК	МТС	ВК	ОБС	ТТК	МФ	
Значение кода выбора оператора связи	55	23	51	59	57	15	–
Значение категории оконечного элемента сети связи (определяется АОН)	1	2	3	4	6	7	0

Обозначения операторов:

**РТК** – ПАО «Ростелеком»; **МТС** – ПАО «Мобильные ТелеСистемы»;

**ВК** – ПАО «Вымпел- Коммуникации»; **ОБС** – ООО «Оранж Бизнес Сервисез»

**ТТК** –АО «Компания ТрансТелеком»; **МФ** – ПАО «МегаФон».

Префиксы и коды выбора оператора в телефонный номер не включаются.

Если соединение устанавливается к абоненту сети подвижной радиотелефонной связи, то вместо кода  $ABC$  набирается  $DEF$  – код географически неопределяемой зоны нумерации.

При внутризональной телефонной связи абонент набирает

$P_n ABC X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7$ ,

где  $P_n = 0$  – междугородный префикс;

$ABC$  – код географически определяемой «своей» зоны нумерации;

$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7$  – зональный телефонный номер.

Функциональное назначение кодов  $ABC$  и  $DEF$  приведено в таблице 2.4.

По состоянию на 01.01.2019г. в Российской Федерации всего назначено 90 кодов ABC, из них с первой цифрой кода A=3 всего 23 кода, с первой цифрой A = 4 всего 30 кодов, с первой цифрой A=8 всего 37 кодов.

**Для идентификации оконечных устройств на телефонных сетях Российской Федерации при входящей связи** используются следующие номера:

- международный телефонный номер

7 – ABC –  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$ ; 7 – DEF –  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$ ;

- междугородный телефонный номер ABC  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$  (для географически определяемой зоны нумерации);

Таблица 2.4. Функциональное назначение кодов нумерации ABC, DEF и КДУ 7-й зоны всемирной нумерации

Первая цифра кода	Функциональное назначение кодов
0	Для обозначения междугородного префикса Пн=0 и первой цифры международного префикса Пмн=00
1	Для обозначения первой цифры номера для выхода к заказным и информационно-справочным службам: 101, 102, 103, 104, 112, ...
2	Резерв (общий с Республикой Казахстан)
3	Коды ABC (23 кода)
4	Коды ABC (30 кодов)
5	Резерв
8	Коды ABC и коды доступа к услуге электросвязи (КДУ) (37 кодов)
9	Коды DEF и коды доступа к услуге электросвязи (КДУ)

DEF  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$  (для географически не определяемой зоны нумерации);

- зональный телефонный номер  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$ ;

- местный телефонный номер может включать в себя от 3 до 7 десятичных знаков в зависимости от емкости телефонной сети.

Местный телефонный номер по значности может совпадать с зональным телефонным номером.

### Нумерация в сети подвижной радио телефонной связи (ПРТС)

При установлении телефонного соединения в сети подвижной радио телефонной связи используется закрытый план нумерации с префиксом Пн.

Для идентификации оконечных элементов сети подвижной связи используются комбинации цифровых обозначений:

- код страны подвижной связи MCC (*Mobile Country Code*) – до трёх цифр (Российская Федерация MCC = 250);

- код сети подвижной связи MNC (*Mobile Network Code*) – до двух цифр (для идентификации сети подвижной связи в пределах страны);

- опознавательный номер абонентской станции *MSIN (Mobile Subscription Identification Number)* – десять цифр (для идентификации абонентской станции в пределах сети подвижной связи, к которой она подключена).

Международный номер абонентской станции *IMSI (International Mobile Subscription Identity)* последовательно образуется из кода страны подвижной связи, кода сети подвижной связи и опознавательного номера абонентской станции, используемый для идентификации абонентской станции подвижной связи в глобальных сетях подвижной связи. Максимальное число цифр в международном номере равно 15.

Коды *DEF* для географически не определяемых зон нумерации используются для нумерации конечных устройств сетей подвижной радиотелефонной связи, сетей подвижной радиосвязи, сетей подвижной спутниковой радиосвязи (таблица 2.5) и в качестве кодов доступа к услугам электросвязи (таблица 2.6).

Таблица 2.5. Перечень кодов *DEF* сетей подвижной радиотелефонной связи, сетей подвижной радиосвязи и сетей подвижной спутниковой радиосвязи в Российской Федерации

Вид сети электросвязи	Значение кода <i>DEF</i>
Сети подвижной радиотелефонной связи	900 - 906, 908 – 909, 910 – 919, 920 – 929, 930 – 934, 936 – 939, 941, 950 -953, 958, 960- 969, 977, 978, 980-981, 983-986, 988 -989, 991-996, 999.
Сети подвижной радиосвязи	955-957, 997
Сети подвижной спутниковой радиосвязи	954

**Формат номера при оказании услуг связи с использованием кодов доступа к услугам электросвязи (КДУ),** в том числе к услугам связи по передаче данных и к телематическим услугам связи:

$$П_H КДУ X_1 X_2 X_3 X_4 \dots X_n,$$

где:  $П_H = 0$  – национальный префикс;

КДУ – код доступа к услуге электросвязи (таблица 2.6);

$X_1 X_2 X_3$  – индекс, закрепляемый за оператором связи, предоставляющим услуги связи с использованием кодов доступа к услугам электросвязи.

$X_4 \dots X_n$  – номер услуги связи.

Таблица 2.6. Перечень кодов доступа к услуге электросвязи (КДУ)

№ п/п	Коды доступа к услуге электросвязи	Наименование услуги электросвязи
1	800	Бесплатный вызов ( <i>FPN- Freephone</i> )
2	801	Вызов с автоматической альтернативной оплатой
3	802	Вызов по кредитной карте
4	803	Телеголосование ( <i>VOT – Televoting</i> )
5	804	Универсальный номер доступа
6	805	Вызов по предоплаченной карте
7	806	Вызов по расчетной карте
8	807	Виртуальная частная сеть
9	808	Универсальная персональная связь
10	809	Услуга за дополнительную оплату
11	881-899	Перспективные коды услуг
12	870	Доступ к услугам связи по передаче данных
13	871	Доступ к телематическим услугам связи

Перечень индексов, закрепляемых за операторами связи при оказании услуг связи с использованием кодов доступа (КДУ), приведен в таблице 2.7.

Таблица 2.7. Перечень индексов, закрепляемых за операторами связи при оказании услуг связи с использованием кодов доступа (КДУ)

Кол-во индексов	Значения индексов $X_1X_2X_3$ в КДУ 800 - 809	Территория использования КДУ
427	100, 200 - 346, 348 – 350, 444, 500 – 739, 741 - 775	Для оказания услуг связи на всей территории Российской Федерации.
273	101 – 199, 347, 351 – 443, 445 – 499, 740, 776 - 799	Для оказания услуг связи в субъектах Российской Федерации.

Для доступа к специальным службам сетей местной телефонной связи, к службам информационно-справочной системы операторов местной телефонной связи, к услугам передачи данных и к телематическим услугам связи используются номера из ресурса нумерации первой миллионной группы географически определяемой зоны нумерации, в том числе объединённые в группы (серийные номера), вида «1UV( $X_1(X_2)$ )», где «1UV» - номер службы.

Для доступа к службам информационно-справочной системы операторов связи, оказывающих услуги местной телефонной связи в пределах одного и того же поселения, муниципального района или города федерального значения с использованием нумерации из ресурса нумерации одной и той же географически определяемой зоны нумерации, используется формат номера вида «118( $X_1(X_2)$ )».

Для доступа к службам информационно-справочной системы операторов связи, оказывающих услуги местной телефонной связи из иных поселений, муниципальных районов или городов федерального значения с использованием нумерации из ресурса нумерации одной и той же географически определяемой зоны, а также из ресурса нумерации других географически определяемых зон нумерации и географически не определяемых зон нумерации используется формат номера вида «П<sub>Н</sub> ABC 118 (X<sub>1</sub>(X<sub>2</sub>))».

Для доступа абонентов и пользователей услугами Фиксированной телефонной связи и услугами подвижной связи к экстренным оперативным службам на всей территории Российской Федерации используется единый номер «112», а также номера соответствующих экстренных служб: «101», «102», «103», «104».

Для доступа абонентов и пользователей услугами фиксированной телефонной связи и услугами подвижной связи:

- к телефонной линии «Ребёнок в опасности» используются единые номера «121», «123»;
- к единой службе поддержки граждан для консультаций при получении государственных и муниципальных услуг в электронном виде используется единый номер «115»;
- к единой региональной медицинской службе используется единый номер «122» при заболевании коронавирусом.

Номера доступа к специальным службам местных сетей телефонной связи, для доступа к службам информационно-справочной системы операторов местной телефонной связи, к услугам передачи данных и к телематическим услугам связи приведены в [5].

Средства обеспечения систем нумерации приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8. Средства обеспечения систем нумерации

Вид обеспечения	Средства обеспечения
Техническое	Столы справок, автоинформаторы, базы данных
Методическое	Рекомендации МСЭ-Т, постановления Правительства РФ, приказы Минцифры России
Программное	Прикладные программы
Информационное	Картотеки, справочники
Организационное	Инструкции, приказы по подразделениям

### 2.3. Нумерация на сельских телефонных сетях

Сельские телефонные сети (СТС) обеспечивают телефонной связью абонентов, расположенных на территории сельских административных районов. Обычно эти сети строятся по радиальному, или по радиально – узловому

принципу с использованием центральной (ЦС), узловых (УС) и оконечных (ОС) станций (рис. 2.1).

*Центральная станция*, как правило, располагается в райцентре (городе областного подчинения) и является основным коммутационным узлом СТС.

*Узловая станция* располагается в любых населенных пунктах сельских районов, в них включаются соединительные линии от ОС.

*Оконечная станция* также располагается в любом населенном пункте сельского района, в зависимости от способа построения сети она может включаться и в УС, или непосредственно в ЦС.

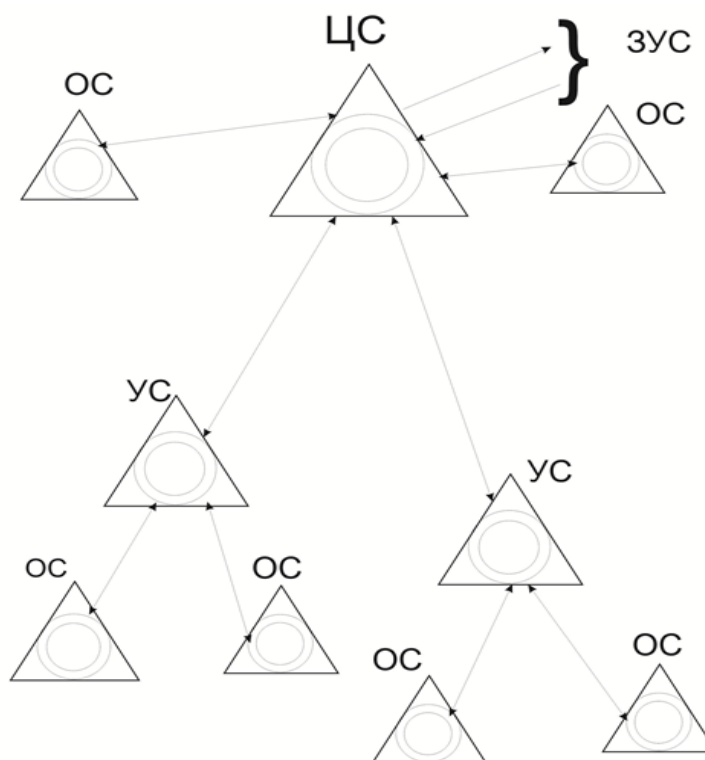


Рис. 2.1. Принципы построения СТС

На аналого-цифровых сельских телефонных сетях (СТС), применяется открытая система нумерации с префиксом или без префикса выхода за пределы оконечной АТС (ОС). При построении СТС на цифровом коммутационном оборудовании применяется закрытая система нумерации.

**Открытая нумерация с префиксом выхода.** На центральной станции (ЦС) и узловой станции (УС) используется пятизначная нумерация. На ОС для внутривысостанционной связи используется сокращенную двух- или трехзначную нумерацию в зависимости от емкости станции. При емкости ОС 800 и более номеров на ОС используется пятизначная нумерация. В качестве префикса выхода используется цифра 9.

Сокращенные номера на ОС не должны начинаться с цифры 9. Пятизначные номера не должны начинаться с цифр 0 и 1. При соединении абонента ОС с зоновым узлом связи (ЗУС) набирается префикс 9 и затем префикс Пн=0.



При выходе к экстренным службам – 9 и далее номер службы 101, 102, 103, 104 или единый номер вызова экстренных оперативных служб 112. Межстанционная связь в пределах одной СТС от абонента ОС осуществляется путем набора цифры 9 и пятизначного номера. При разработке нумерации следует учитывать коэффициенты использования номерной емкости сети:

- на ближайшие пять лет для ГТС 50-60%; для СТС 40-50%;
- на перспективу для ГТС 60-80%; для СТС 50-60%.

Пример открытой нумерации с префиксом выхода приведен на рис. 2.2 для СТС<sub>1</sub>.

**Открытая нумерация без префикса выхода.** На ЦС и УС применяется пятизначная нумерация. На ОС для внутристанционной связи используется сокращенная двух- или трехзначная нумерация в зависимости от емкости ОС. При емкости ОС 700 и более номеров на ОС используется пятизначная нумерация.

Первые цифры сокращенных номеров на ОС не должны начинаться с 0, 1, 8 и с первых цифр пятизначных номеров на СТС. Пятизначные номера не должны начинаться с 0, 1, 8.

При внутристанционной связи абонент набирает сокращенный номер. Межстанционная связь от абонента ОС осуществляется путем набора пятизначного номера. При соединении абонента ОС с ЗУС или УСС набирается соответственно цифра 0, или 101, 102, 103, 104, или 112. Основным недостатком этой нумерации является большая потеря номерной емкости сети.

Так, при выделении только одной цифры в качестве первого знака для пятизначных номеров предельная емкость сети составляет 7 тысяч номеров. При выделении для пятизначной нумерации двух первых цифр емкость сети не превышает 12 тысяч номеров, а при выделении трех первых цифр - 15 тысяч номеров.

Максимальная емкость СТС при открытой нумерации без префикса выхода не превышает 16 тысяч номеров.

Пример открытой нумерации без префикса выхода приведен на рис. 2.1 для СТС<sub>2</sub>.

**Закрытая система нумерации.** Эту систему нумерации рекомендуется применять при использовании на СТС цифровых АТС. При закрытой нумерации как внутристанционные, так и межстанционные соединения в пределах СТС осуществляются путем набора пятизначного номера.

Вызов спецслужб осуществляется путем набора сокращенных номеров 101, 102, 103, 104 или - 112, а внутризоновая и междугородная автоматическая связь – набором префикса выхода на ЗУС – цифры 0 и при предварительном выборе оператора ABC (или DEF)  $X_1X_2X_3X_4X_5X_6X_7$ . Закрытая нумерация является перспективной для СТС.

## Задание №2

Для двух сельских телефонных сетей (СТС), расположенных в одной или разных зонах семизначной нумерации, разработать нумерацию абонент-

ских линий. Емкости СТС, центральных станций (ЦС), оконечной станции (ОС), подключенной непосредственно к ЦС, узловых районов (УР) приведены в таблице 2.9. В каждом узловом районе показать не менее трех станций. На СТС<sub>1</sub> принять открытую нумерацию с префиксом выхода, а на СТС<sub>2</sub> – открытую без префикса выхода.

Записать последовательность цифр, которые набирает абонент каждой СТС при внутривысостанционной связи, междывсостанционной связи в пределах одной СТС, междывсостанционной связи между абонентами разных СТС, междугородной и международной телефонной связи при предварительном выборе оператора междугородной (международной) связи.

Таблица 2.9. Исходные данные для выполнения задания

№ вар.	Ёмкости:									Местополо- жение СТС <sub>1</sub> и СТС <sub>2</sub> в зонах нуме- рации
	СТС <sub>1</sub>	ЦС	ОС	УР <sub>1</sub>	УР <sub>2</sub>	СТС <sub>2</sub>	ЦС	УР <sub>1</sub>	УР <sub>2</sub>	
1.	12281	8400	164	2825	892	9118	6319	1567	1232	в одной
2.	13208	9000	129	3438	641	7468	5891	963	614	в разных
3.	11358	8000	153	1936	1269	8763	7591	638	534	в одной
4.	10459	8700	167	1197	395	7598	5963	935	700	в разных
5.	12777	8800	145	1784	2048	6987	5569	894	524	в одной
6.	9869	7300	151	1349	1069	10197	8395	1231	571	в разных
7.	13198	8800	159	1496	2743	9596	7938	958	700	в одной
8.	11844	7700	198	1748	2198	8935	6845	999	1091	в разных
9.	9768	7705	130	1315	618	10398	8981	895	522	в одной
10.	10318	7810	179	1139	1190	7963	6915	583	465	в разных
11.	11859	8800	163	1513	1383	8391	6815	739	837	в одной
12.	12196	9000	113	1791	1292	6989	5635	714	640	в разных
13.	9119	8000	100	613	406	7849	5935	896	1018	в одной
14.	11694	9000	211	1318	1165	9369	7987	600	782	в разных
15.	10569	8800	110	1138	516	8555	6500	1190	865	в одной
16.	12345	8950	109	1437	1845	9357	5948	1693	1716	в разных
17.	10968	7940	236	1314	1473	7985	6876	814	295	в одной
18.	11345	8350	273	1766	951	8147	7110	683	354	в разных
19.	10107	8500	315	748	537	7588	6103	767	718	в одной
20.	12666	9330	444	1790	1099	9999	6666	1666	1667	в разных
21.	8455	6300	125	930	1100	8655	6820	720	1115	в одной
22.	9780	7500	130	950	1200	8636	6900	751	985	в разных

23.	10764	8300	134	980	1350	8860	7250	785	825	в одной
24.	9486	7400	138	1100	830	9000	7530	830	640	в разных
25.	8935	6850	145	1200	740	9285	7820	855	610	в одной
26.	9060	6900	180	1300	680	11055	9600	870	585	в разных

### Контрольные вопросы

1. Перечислите зоны всемирной нумерации и назовите номера этих зон.
2. Сколько десятичных знаков может иметь код страны?
3. Что означает символ «+» перед международным номером?
4. Сколько максимально цифр может быть в международном телефонном номере?
5. Как формируется международный номер подвижной станции (телефонной трубки СПСС)?
6. Поясните структуру международного телефонного номера абонентов Российской Федерации.
7. Назовите международный и национальный (междугородный) префиксы.
8. Назовите назначение кодов географически определяемых и географически не определяемых зон нумерации.
9. Назовите последовательность цифр, которые должен набрать абонент в процессе установления междугородного и международного соединений при предварительном выборе оператора междугородной и международной телефонной связи и при выборе оператора при каждом соединении.
10. Для Вашего квартирного телефонного аппарата запишите местный, зонный, междугородный и международный телефонные номера.
11. Какие ограничения накладываются на первые цифры сокращённых номеров абонентов ОС СТС при открытой нумерации с префиксом выхода?
12. Какие ограничения накладываются на первые цифры сокращённых номеров абонентов ОС СТС при открытой нумерации без префикса выхода?
13. Назовите последовательность цифр, которые должен набирать абонент ОС СТС при установлении различных видов телефонных соединений при открытой нумерации с префиксом выхода и без префикса выхода.
14. Сколько номеров может быть предоставлено различным компаниям для предоставления услуги оплаты за счет вызываемого абонента?
15. Определите максимальную емкость всех СПСС России, если негеографические коды DEF начинаются только с цифры 9.
16. Какое максимальное число географических зон ABC может быть в России.
17. Какие преимущества у закрытой системы нумерации?

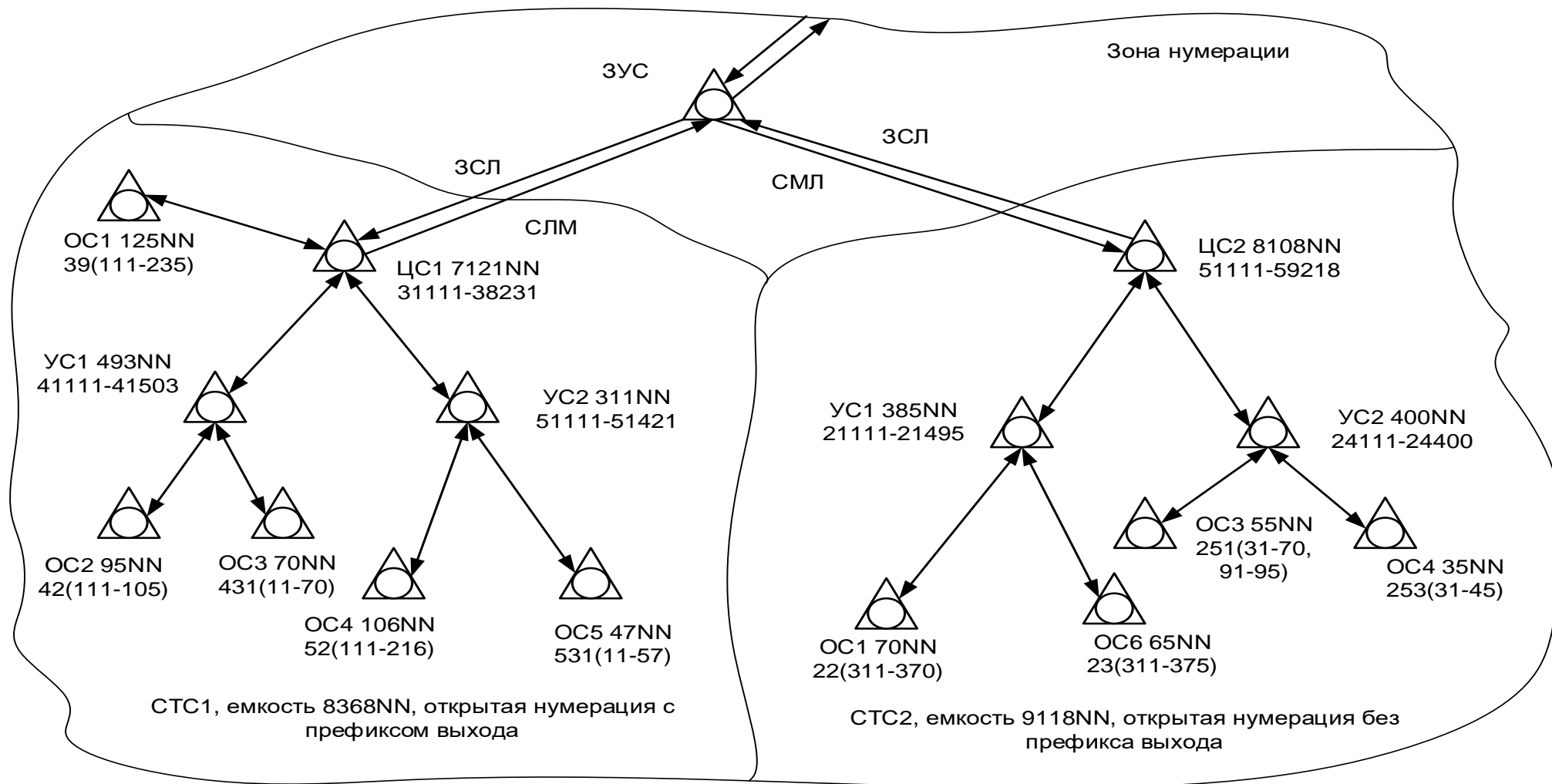


Рисунок 2.2. Пример нумерации на сельских телефонных сетях общего пользования.

### 3. Сигнализация по абонентским линиям

#### 3.1. Сигнализация постоянным током

При использовании технологии коммутации каналов применяются следующие системы сигнализации по абонентским линиям (АЛ) [7-9]:

- постоянным током;
- постоянным током и многочастотным способом;
- Европейская цифровая система сигнализации *EDSS1* (*European Digital Subscriber Signaling №1*) в цифровых сетях с интеграцией служб (ЦСИС);
- по интерфейсу V.5.

В сетях с коммутацией пакетов на абонентских линиях применяется протокол *SIP – Session Initiation Protocol* – протокол установления сеанса [7].

Сигналы, обеспечивающие нормальное функционирование систем коммутации, называются *функциональными*.

Различают:

- *линейные* сигналы, которые могут передаваться на любом этапе установления и разъединения соединения (сигналы «занятие», «ответ», «отбой» и др.);
- сигналы *управления* (регистровые сигналы) представляют собой адресные сигналы и сигналы, обеспечивающие передачу адресной информации, необходимой для управления установлением соединения;
- *информационные* (акустические) сигналы служат для информирования абонента или оператора о состоянии устанавливаемого соединения.

Требования к параметрам функциональных сигналов и электрических цепей, по которым они передаются, определены отраслевым стандартом ОСТ 45. 54. – 95 «Стыки оконечных абонентских телефонных устройств (ОАТУ) и АТС. Характеристики электрических цепей и сигналов на стыках» (рис. 3.1.).

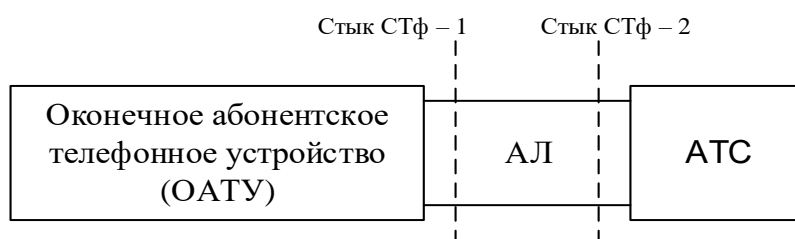


Рис. 3.1. Стыки на участке ОАТУ – АТС по физическим абонентским линиям (АЛ)

Параметры абонентских линий приведены в табл. 3.1.

На рис. 3.2 приведена упрощенная принципиальная схема, поясняющая принцип передачи номера импульсами постоянного тока.

Таблица 3.1. Параметры абонентских линий

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1.	Собственное затухание АЛ, включенной в цифровую АТС на частоте $f = 1020$ Гц	$a_c \leq 6 \text{ дБ}$
2.	Собственное затухание АЛ, включенной в аналоговую АТС, на частоте $f = 1000$ Гц для кабеля с диаметром жил:	$0,4 \text{ мм } a_c \leq 4,5 \text{ дБ}$ $0,5; 0,64; 0,7 \text{ мм } a_c \leq 5,0 \text{ дБ}$
3.	Переходное затухание на ближнем к АТС конце на частоте $f = 1020$ Гц	$a_c \geq 69,5 \text{ дБ}$
4.	Сопротивление жил кабеля постоянному току	$R_{\text{ж}} \leq 1200 \text{ Ом}$ $(2 * 600 \text{ Ом})$
5.	Максимальное сопротивление постоянному току шлейфа АЛ, включая сопротивление ТА	$R_{\text{шл}} \leq 1800 \text{ Ом}$
6.	Рабочая ёмкость для ГТС для СТС	$C_p \leq 0,5 \text{ мкФ}$ $C_p \leq 1,0 \text{ мкФ}$
7.	Сопротивление изоляции между проводниками или каждым проводом и землей	$R_{\text{из}} \geq 20 \text{ кОм}$
8.	Напряжение питания АЛ	$U = 44 \div 72 \text{ В}$
9.	Ток питания микрофонной цепи	$I_{\text{м}} = 25 \div 40 \text{ мА}$

На схеме введены следующие обозначения:

**ТА** – телефонный аппарат; **М** – микрофон; **Т** – телефон; **БК** – балансный контур; **ИК** – импульсные контакты номеронабирателя; **ШК** – шунтирующие контакты номеронабирателя; **РП** – рычажный переключатель ТА; **Зв** – звонок; **И** – обмотки импульсного реле; **У** – обмотка замедленного на срабатывание и отпускание удерживающего реле; **ЭМ** – электромагнит искателя.

### Последовательность передачи функциональных сигналов

**Исходное состояние ТА.** В исходном состоянии микротелефонная трубка лежит на рычажном переключателе. Контакты 1-2 РП разомкнуты, а 2-3 – замкнуты. АЛ находится под напряжением постоянного тока  $60 \text{ В}$ , однако постоянный ток через ТА не течет, т.к. последовательно со звонком переменного тока включен конденсатор  $C$ . Реле  $И$ ,  $У$  и электромагнит  $ЭМ$  обесточены.

**Вызов абонентом АТС.** Абонент снимает микротелефонную трубку. Размыкаются контакты 2 – 3 РП, тем самым обрывается цепь звонка, и замыкаются контакты 1 – 2 РП. На временной диаграмме электрических цепей начало этого этапа установления соединения отмечено моментом времени  $t_1$ .

По обмоткам импульсного реле  $И$  начинает протекать постоянный ток (покажите цепь протекания постоянного тока!).

Ток в обмотках реле  $И$  нарастает до значения тока срабатывания, реле  $И$  срабатывает (момент времени  $t_2$ ) и переключает свои контакты: размыкаются контакты 12-13 и замыкаются контакты 11-12, создавая цепь для работы удерживающего реле  $У$ .

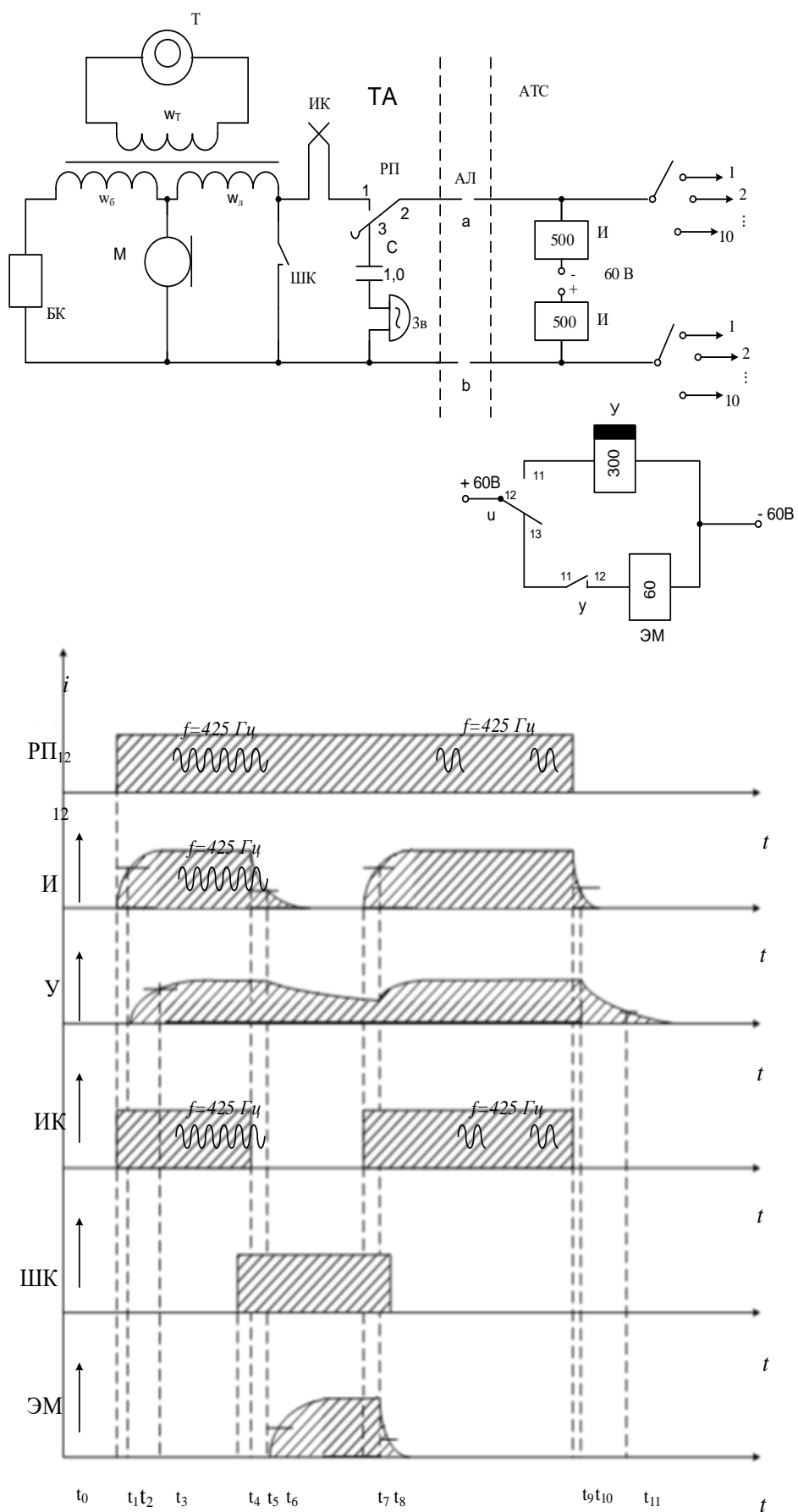


Рис. 3.2. Упрощенная принципиальная схема, поясняющая абонентскую сигнализацию постоянным током

Реле  $У$  имеет конструктивный замедлитель, благодаря чему оно замедлено как на срабатывание, так и на отпускание. Реле  $У$  с замедлением срабатывает (момент времени  $t_3$ ) по цепи:  $+60 В$ , замкнутые контакты  $и 11-12$ , обмотка реле  $У$ ,  $-60 В$ . Реле  $У$  своими контактами  $у 11-12$  подготавливает цепь работы электромагнита ЭМ. На третью обмотку реле  $И$  (на схеме не показана) подается ток с частотой  $f = 425 \pm 3$  Гц (непрерывный зуммер ответа станции). В две обмотки реле  $И$ , показанные на схеме, наводится ЭДС. Абонент слышит зуммер ответа станции – приглашение к набору номера.

Студентам предлагается самостоятельно показать цепи, по которым протекает ток зуммера ответа станции.

**Набор номера.** При заводе диска номеронабирателя замыкается шунтирующий контакт  $ШК$ , защищая абонента от акустических ударов при размыкании и замыкании импульсных контактов номеронабирателя. При обратном ходе номеронабирателя размыкаются контакты  $ИК$  (момент времени  $t_5$  на диаграмме). Обмотки реле  $И$  обесточиваются, контакты  $и 11-12$  размыкаются, а контакты  $и 12-13$  замыкаются, создавая цепь для работы электромагнита искателя. Контактными  $и 11-12$  обесточивается обмотка реле  $У$ , но оно продолжает удерживать, т.к. замедлено на срабатывание и на отпускание. Через обмотку электромагнита искателя ток протекает по цепи:  $+60 В$ , контакты  $и 12-13$ , контакты  $у 11-12$ , обмотка электромагнита,  $-60 В$ . Электромагнит срабатывает, щетки искателя перемещаются на одну позицию. На диаграмме показан набор цифры 1.

После замыкания импульсных контактов номеронабирателя реле  $И$  вновь срабатывает, обмотка реле  $У$  вновь становится под ток, а обмотка электромагнита обесточивается (момент времени  $t_7$  и  $t_8$  на диаграмме).

**Посылка вызова, разговорное состояние.** Если линия вызываемого абонента свободна, то из приборов входящей АТС в телефонный аппарат вызываемого абонента посылается вызывной сигнал на частоте  $f = 25 \pm 2$  Гц с эффективным напряжением до 110 В. Посылка вызова 1с, пауза - 4с. В сторону вызываемого абонента подается зуммер контроля посылки вызова длительностью 1с и паузой 4с на частоте  $f = 425$  Гц.

**Отбой.** Абонент кладет микротелефонную трубку, контактами  $РП 1-2$  отывается цепь питания реле  $И$  (момент времени на диаграмме). Реле  $И$  отпускает, контактами  $и 11-12$  обесточивается обмотка реле  $У$  (момент времени  $t_{10}$ ), реле  $У$  с замедлением отпускается (момент времени  $t_{11}$ ). Схема возвращается в исходное состояние.

### 3.2. Набор номера многочастотным способом

В 1960 году разработан *многочастотный* способ передачи сигналов набора номера (*Dual-Tone Multiple-Frequency - DTMF*). Частотные сигналы выбираются из двух групп частот звукового диапазона:

- нижняя группа частот 697, 770, 852 и 941 Гц;
- верхняя группа частот 1209, 1336, 1477 и 1633 Гц.



Каждый сигнал содержит, только две частоты. Одна из частот выбирается из нижней группы, вторая – из верхней группы частот. Соответствие между кнопками номеронабирателя и номинальными частотами в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т Q.23 приведено на рис. 3.3. Среднее время набора одной цифры 0,7 с.

Значения частот не должны отличаться от своих номинальных значений больше, чем на 1,8%. Длительность посылки и паузы – 50 мс. Телефонные аппараты с многочастотным способом передачи сигналов набора номера используются для дополнительных видов обслуживания: уведомления о поступлении нового вызова, подключения к установленному соединению третьего абонента, переадресации вызова на другой номер, вызова по системе сокращенной нумерации и др.

Частоты, Гц	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

Рис. 3.3. Соответствие частот знакам номера

### 3.3. Абонентская сигнализация *EDSSI* по *D*-каналу

В 1990 году были разработаны стандарты, регламентирующие систему сигнализации на абонентском участке цифровой сети с интеграцией служб (*ISDN*). Эта система сигнализации была названа *EDSSI* (*Европейская цифровая система сигнализации №1*). Данная система сигнализации применяется как для базового, так и для первичного доступа (рекомендация МСЭ-Т Q.931) (сигнализация пользователь - сеть).

С помощью *EDSSI* осуществляется установление соединения, происходит разъединение, производится заказ услуг пользователями, передача информации между абонентами. Все эти функции реализуются с помощью специальных аппаратно - программных средств, входящих в состав терминалов *ISDN*, сетевых окончаний и оборудования систем коммутации.

Протоколы абонентской сигнализации описываются в соответствии с семи-уровневой Эталонной моделью взаимодействия открытых систем (ЭМВОС).

Сигнализация пользователь - сеть находится в пределах трёх нижних уровней ЭМВОС и выполняет следующие функции (Рис. 3.3):

- **уровень передачи данных** (физический уровень, уровень 1) обеспечивает синхронизируемую сетью передачу информации по каналам одновременно в обоих направлениях и регулирует одновременный доступ нескольких оконечных устройств к совместно используемому *D* - каналу;

- **уровень защиты *D* - канала** (уровень звена передачи данных, уровень 2) обеспечивает защищенную от ошибок передачу сигнальной информации для уровня 3 и передачу пакетов данных, передаваемых в *D* - канале, в обоих направлениях между сетью и устройством пользователя;

- **уровень коммутации *D* - канала** (сетевой уровень, уровень 3) обеспечивает установление и управление соединением на участке пользователь - сеть. Третьим уровнем заканчивается сигнализация пользователь - сеть.

**Уровень 1** рассматривается на примере основного доступа (рис. 3.4).

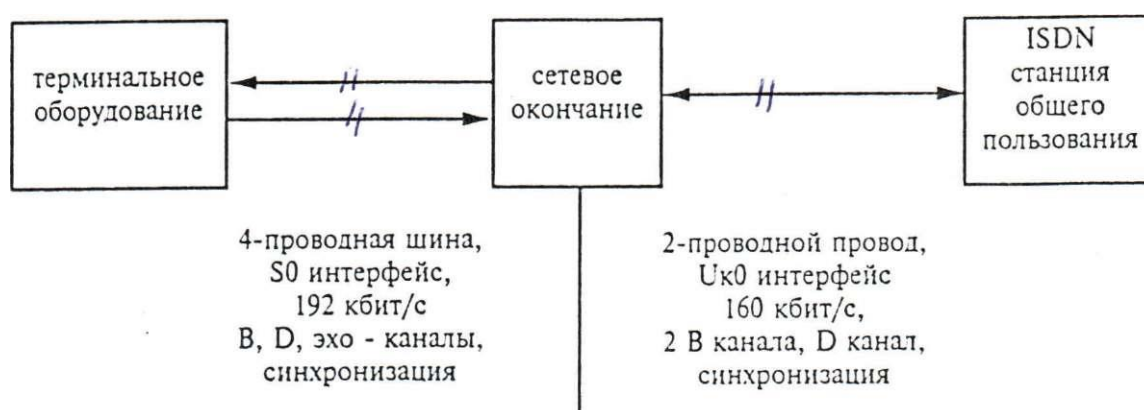


Рис. 3.4. Уровень 1 для сигнализации DSS-1

**S0 - интерфейс** представляет собой четырёхпроводную шину и обеспечивает передачу информации в двух направлениях: от сетевого окончания (*NT*) до терминального оборудования и от терминального оборудования до *NT*.

В каждом из направлений информация передаётся со скоростью 192 кбит/с. Информация передаётся в виде фрейма длиной 48 бит, частота посылки фрейма 4000 раз в секунду, что и составляет 192 кбит/с. 48 бит организуются следующим образом: 16 бит на каждый *B* - канал; 4 бита на *D* – канал; 12 бит на синхронизацию и эхоподавление.

Таким образом, функции *S0*-интерфейса заключаются в организации двух стандартных пользовательских каналов (*B* - каналов) со скоростью 64 кбит/с в каждом направлении и канала сигнализации (*D* - канала) со скоростью 16 кбит/с (рис. 3.5).

Канал синхронизации требуется для передачи каналов в режиме временного уплотнения. С помощью синхронизации определяется расположение битов *B* и *D* каналов. По шине *S0* осуществляется питание пользовательского оборудования.

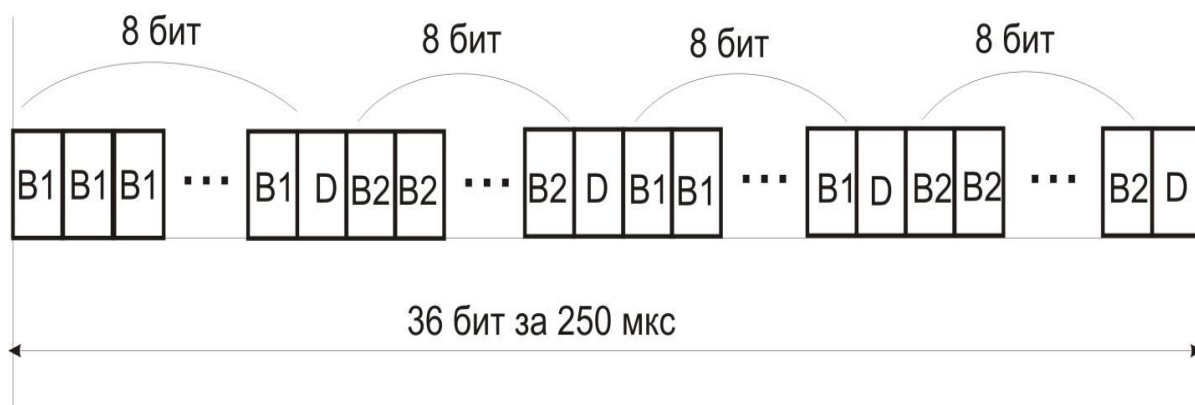


Рис. 3.5. Структура цикла абонентского доступа в сигнализации EDSS-1

**Uk0 интерфейс.** Абонентские линии могут существенно различаться по протяжённости, по характеристикам кабелей, поэтому МСЭ-Т не определяет стандарты на способ передачи сигналов по абонентской линии (контрольная точка  $U$  не стандартизирована). Выбор интерфейса обмена производится с учётом национальных требований. Наиболее часто используется интерфейс, называемый  $Uk0$ . Описание его приводится ниже.

Основная проблема, возникающая при передаче на основном доступе, состоит в использовании существующих медных проводов для двухсторонней цифровой передачи. Причиной данной проблемы является необходимость обеспечения высокой скорости (160 кбит/с) при двухсторонней передаче по проводам  $a$  и  $b$ .

Для решения этой проблемы используется код  $2B/1Q$ .

$2B/1Q$  означает, что два бита информации кодируются одним импульсом определённой полярности и амплитуды. Так как возможны четыре случая сочетаний двух бит, то импульс принимает четыре различных значения и называется четверичным символом (Рис. 3.6).

**Уровень 2.** Протокол, используемый для уровня 2 в  $D$ -канале при выполнении процедуры установления соединения, называется  $LAPD$  (Link Access Procedure on the  $D$  channel). Данный протокол основывается на протоколе  $LAPB$  (рекомендация МСЭ-Т X.25). Однако особенности  $LAPD$  дают ему ряд важных преимуществ.

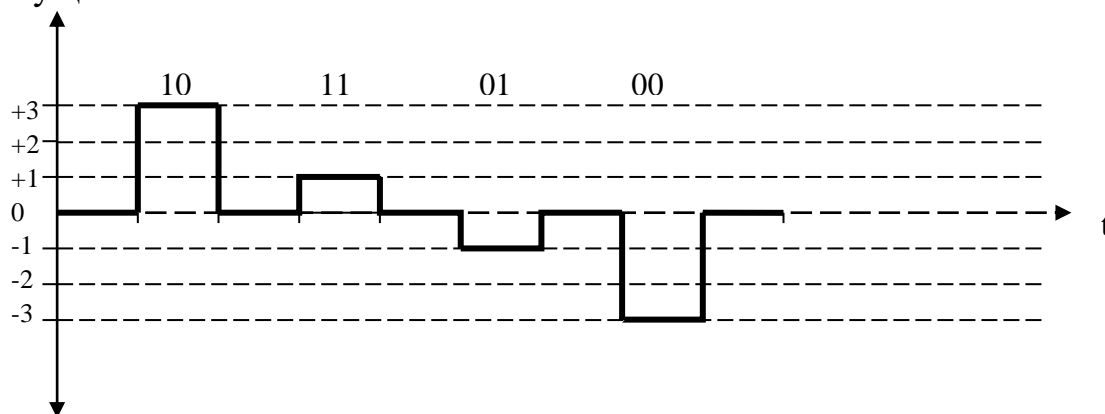


Рис. 3.6. Кодирование по принципу  $2B/1Q$ .

Линейная скорость для этого кода составляет  $160/2 = 80$  кБод.

**Уровень 3.** Основным протоколом 3-го уровня является протокол цифровой абонентской сигнализации (ЦАС), описанный в рекомендации Q.931. Уровень 3 отвечает за установление и управление соединением. Он готовит сообщения для передачи их вторым уровнем, подготовленная информация помещается в информационное поле *D* - канального сообщения. Сообщения уровня 3 – это сообщения, передаваемые между терминалами пользователя и станцией и наоборот. Третий уровень содержит процедуры для управления вызовами в режиме коммутации каналов, а также процедуры, позволяющие использовать *ISDN* для осуществления вызовов в режиме коммутации пакетов по *D* – каналу.

### 3.4. Абонентская сигнализация в IP-сетях

В сетях с коммутацией пакетов *IP*-телефонный аппарат (*IP*-ТА или *SIP*-ТА), как и обычный компьютер, подключается к сети через стандартный Ethernet-порт. Большинство современных *SIP*-ТА оснащены двумя Ethernet-портами. Наличие двух портов позволяет подключить телефонный аппарат в разрыв между локальной сетью и персональным компьютером без необходимости прокладки дополнительных проводов. В этом случае *SIP*-ТА работает в режиме коммутатора.

Для подключения *SIP*-ТА без использования электрической сети используется технология *Power over Ethernet (PoE)*. Стандарт *IEEE 802.3at-2009 (PoE+)* предусматривает подачу мощности до 25,9 Вт по витой паре категории 5. Если в офисе проложена гигабитная Ethernet-сеть, то *SIP*-ТА рекомендуются с портами *Gigabit Ethernet*.

При отсутствии проводной сети рекомендуются *SIP*-ТА с поддержкой *WiFi*. С помощью *DECT*-адаптера можно превратить ТА в базовую станцию. Помимо основной проводной трубки можно подключить до четырёх беспроводных *DECT*-трубок.

Протокол *SIP* [7] и программная реализация большинства функций *SIP*-ТА позволяют удовлетворить практически любые требования абонентов по расширению функциональных возможностей телефонных аппаратов.

Основные свойства протокола *SIP*: *простота* – включает в себя всего 6 функций; *независимость от транспортного уровня* – *UDP*, *TCP* и др.; *персональная мобильность пользователей* – пользователь перемещается в пределах *SIP*-сети, получая новый адрес. О своих перемещениях пользователь сообщает серверу регистрации с помощью сообщения *REGISTER*; *масштабируемость SIP-сети*; *расширяемость протокола*; *интеграция в существующий стек протоколов Интернет*.

### Задание №3

1. Изобразить две временные диаграммы электрических цепей абонентской сигнализации (рис. 3.2) при следующих условиях:

- 1) абонент набирает цифру 2;
- 2) если реле *У* не замедлено на срабатывание и отпускание.

## 2. Уметь ответить на контрольные вопросы

### Контрольные вопросы

1. Поясните назначение линейных сигналов, сигналов управления, информационных сигналов.
2. Назовите допустимые значения собственного затухания абонентских линий, включенных в цифровые и аналоговые АТС.
3. Назовите допустимые значения напряжения питания абонентских линий.
4. Назовите допустимые значения тока питания микрофонной цепи.
5. Каково номинальное значение скорости работы номеронабирателя при декадном коде?
6. Поясните, что такое импульсный коэффициент номеронабирателя?
7. Какова скорость работы номеронабирателя при передаче номера много-частотным кодом?
8. Назовите значение частоты вызывного сигнала.
9. Каково назначение шунтирующих контактов номеронабирателя?
10. Каково назначение балансного контура в телефонном аппарате?
11. Почему в исходном состоянии телефонного аппарата по абонентской линии не течет постоянный ток?
12. Назовите значение частоты зуммерного сигнала.
13. Поясните, что такое время срабатывания и время отпускания реле постоянного тока?
14. Какая технология коммутации (коммутация каналов или коммутация пакетов) используется в *EDSS1*?
15. На каких уровнях ЭМВОС функционирует система сигнализации *EDSS1*?
16. Назовите скорость передачи функциональных сигналов по *D*-каналу.
17. Назовите линейную скорость передачи функциональных сигналов по абонентской линии при использовании кода  $2B/1Q$ .

## 4. Способ передачи функциональных сигналов по ИКМ-трактам

### 4.1. Преобразование сигналов в системах передачи с ИКМ

Прежде чем рассматривать способ передачи функциональных сигналов по двум выделенным сигнальным каналам (2ВСК), необходимо вспомнить принцип импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). В системах передачи с ИКМ используется цифровое преобразование аналоговых сигналов путем временной дискретизации аналоговых сигналов с последующим амплитудным квантованием и кодированием.

*Дискретизация* заключается в замене аналогового сигнала последовательностью его мгновенных значений, отсчитываемых с определенной частотой. Согласно теореме В.А. Котельникова, значения аналогового сигнала с

ограниченным спектром будут точно воспроизведены, если частота дискретизации, по крайней мере, в 2 раза выше, чем частота самого сигнала.

Для речевого сигнала, ограниченного при телефонной передаче частотой 3400 Гц, частота дискретизации принята равной 8000 имп/с и, следовательно, период дискретизации (интервал между соседними отсчетами) равен 125 мкс ( $1\text{с}/8000=125\text{ мкс}$ ). Это есть амплитудно-импульсная модуляция (АИМ).

Последовательность импульсов АИМ не может быть без искажений передана по линии, так как на приемной стороне из-за амплитудных искажений невозможно точно восстановить модулированный сигнал.

Из теории информации следует, что для восстановления на приемной стороне модулированного сигнала с необходимой точностью достаточно располагать определенным конечным числом значений амплитуды. В системе с ИКМ используется 256 уровней квантования. Имея конечное число уровней, их можно пронумеровать и переслать по линии номер уровня. Это и составляет сущность импульсно-кодовой модуляции.

*Квантование* – это процесс сопоставления значений амплитуды взятого дискрета (сигнала АИМ) ближайшему выделенному уровню, т.е. одному из 256 уровней квантования. Номер каждого уровня выражается в двоичной системе счисления.

*Кодирование* основано на замене значения квантованного дискрета восьмиразрядным словом. Квантование и кодирование осуществляется с помощью кодера. Воспроизводимый в приемнике сигнал не совпадает в точности с передаваемым сигналом, поскольку, ввиду конечного числа уровней квантования (256), вершина дискрета может занимать произвольное положение внутри интервала, который определяется величиной шага квантования, т.е. расстоянием между последовательными уровнями квантования. Поэтому в приемнике значение восстановленного сигнала располагается в середине интервала квантования. Разность между переданными и восстановленными сигналами называется *шумом квантования*.

## 4.2. Диаграмма временных циклов ИКМ 30/32

Цикл передачи соответствует Рекомендации МСЭ – Т G.732 и состоит из 32 канальных интервалов ( $\text{КИ}_0 - \text{КИ}_{31}$ , рис. 4.1): 30 канальных интервалов предназначены для передачи информации (соответствующей 30 каналам ТЧ), один ( $\text{КИ}_{16}$ ) – для передачи сигналов управления и взаимодействия (СУВ), вырабатываемых приборами АТС, и сверхциклового синхросигнала и еще один ( $\text{КИ}_0$ ) – для передачи сигналов цикловой синхронизации.

Каждый канальный интервал состоит из восьми разрядов, обозначаемых  $P1 - P8$ . Частота следования циклов передачи равна частоте дискретизации:

$$- F_u = F_o = 8\text{кГц} (T_u = 125\text{мкс});$$

- частота следования канальных интервалов

$$F_k = F_u \cdot k = 8 \times 32 = 256\text{кГц} (T_k \approx 4\text{мкс});$$

- частота следования символов в цикле передачи (тактовая частота линейного сигнала)

$$F_c = F_T = F_y \cdot k \cdot n = 8 \times 32 \times 8 = 2048 \text{ кГц} \quad (T_c \approx 0,5 \text{ мкс}).$$

Цикловой синхросигнал передается в КИ<sub>0</sub> в четных циклах на позициях P2–P8 и имеет вид 0011011, а в нечетных циклах на позиции P2 передается 1. Позиция P1 в КИ<sub>0</sub> предназначена для передачи дискретной информации (ДИ).

В канальных интервалах КИ<sub>1</sub> – КИ<sub>15</sub> и КИ<sub>17</sub> – КИ<sub>31</sub> передается информация, соответствующая 30 сигналам ТЧ.

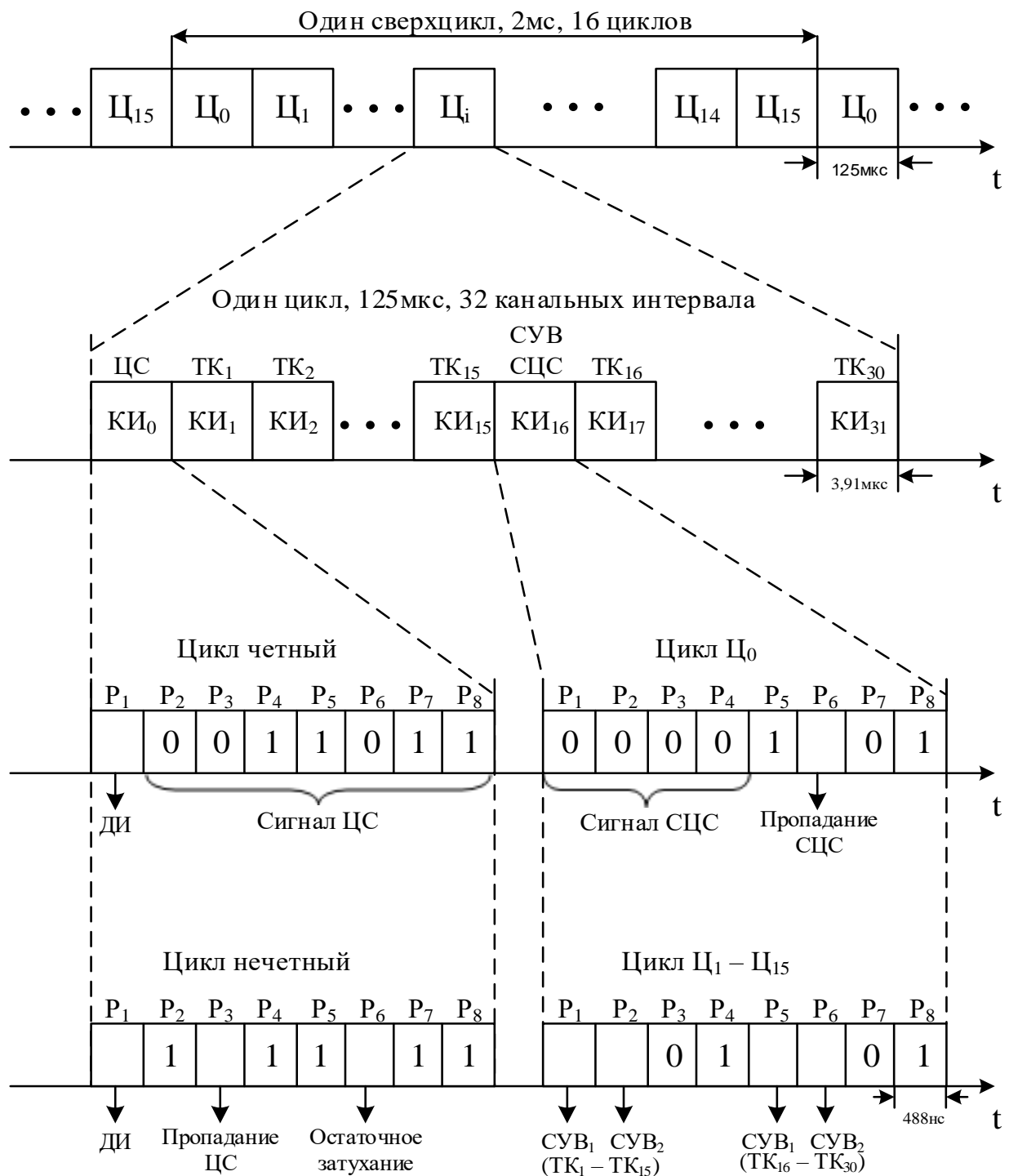
В канальном интервале КИ<sub>16</sub> на позициях P1, P2 и P5, P6 передаются по два СУВ для каждого сигнала ТЧ. Передача СУВ осуществляется поочередно в 15 циклах для 1 – и 16-го, 2 – и 17-го, 3 – и 18-го, ..., 15 – и 30-го сигналов ТЧ.

В цикле Ц<sub>0</sub> в КИ<sub>16</sub> на позициях P1–P4 передается сверхцикловой синхросигнал, определяющий временное положение СУВ. Частота следования сверхциклов  $F_{cy} = F_y / 16 = 500 \text{ Гц}$ . Естественно, что с такой частотой передается каждый СУВ.

На позициях P3, P6 канального интервала КИ<sub>0</sub> в нечетных циклах и P6 канального интервала КИ<sub>16</sub> в Ц<sub>0</sub> формируются сигналы об аварии приемной части аппаратуры ИКМ – 30, которые передаются в передающую часть аппаратуры.

Ниже приведена структура цикла передачи:

Нумерация циклов.....	Ц <sub>0</sub> – Ц <sub>15</sub>
Нумерация канальных интервалов.....	КИ <sub>0</sub> – КИ <sub>31</sub>
Частота дискретизации телефонных сигналов.....	8 кГц
Нумерация разрядов в КИ.....	P1, P2, ..., P8
Число каналов для передачи СУВ на каждый канал ТЧ.....	2 (2 разряда)



ЦС – сигнал цикловой синхронизации;  
 СЦС – сигнал сверхцикловой синхронизации;  
 ДИ – дискретная информация;  
 СУВ – сигнал управления и взаимодействия;  
 ТК – телефонный канал;  
 КИ – канальный интервал.

Рис. 4.1. Диаграмма временных циклов ИКМ – 30/32



**Местоположение сигналов:**

ТЧ.....КИ<sub>1</sub>, КИ<sub>2</sub>, ..., КИ<sub>15</sub>, КИ<sub>17</sub>, ..., КИ<sub>31</sub>  
 СУВ.....КИ<sub>16</sub>, Ц<sub>1</sub> – Ц<sub>15</sub>, Р<sub>1</sub>, Р<sub>2</sub>, Р<sub>5</sub>, Р<sub>6</sub>  
 цикловой синхронизации ЦС.....КИ<sub>0</sub>, Р<sub>2</sub> – Р<sub>8</sub> четных циклов  
 сверхцикловой синхронизации СЦС.....КИ<sub>16</sub>, Ц<sub>0</sub>, Р<sub>1</sub> – Р<sub>4</sub>  
 соответствие каналов для передачи СУВ каналам ТЧ... .КИ<sub>1</sub> – в Ц<sub>1</sub>, Р<sub>1</sub>, Р<sub>2</sub>

.....  
 КИ<sub>15</sub> – в Ц<sub>15</sub>, Р<sub>1</sub>, Р<sub>2</sub>  
 КИ<sub>17</sub> – в Ц<sub>1</sub>, Р<sub>5</sub>, Р<sub>6</sub>  
 .....  
 КИ<sub>31</sub> – в Ц<sub>15</sub>, Р<sub>5</sub>, Р<sub>6</sub>

**Местоположение каналов передачи ДИ:**

первого – восьмого.....КИ<sub>8</sub>, Р<sub>1</sub> – Р<sub>8</sub>  
 девятого.....КИ<sub>0</sub>, Р<sub>1</sub>

**Местоположение сигналов аварии:**

СЦС.....Ц<sub>0</sub>, КИ<sub>16</sub>, Р<sub>6</sub>  
 ЦС.....КИ<sub>0</sub> нечетных циклов, Р<sub>3</sub>  
 остаточного затухания.....КИ<sub>0</sub> нечетных циклов, Р<sub>6</sub>

**Свободные разряды:**

1.....Р<sub>5</sub>, Р<sub>8</sub> Ц<sub>0</sub> КИ<sub>16</sub>  
 Р<sub>4</sub>, Р<sub>8</sub> Ц<sub>1</sub> – Ц<sub>15</sub> КИ<sub>16</sub>,  
 Р<sub>2</sub> КИ<sub>0</sub> нечетных циклов  
 0.....Р<sub>3</sub>, Р<sub>7</sub> Ц<sub>0</sub> – Ц<sub>15</sub> КИ<sub>16</sub>

**4.3. Кодирование сигналов в прямом и обратном направлениях передачи**

Прямое направление передачи сигналов – от исходящей АТС к входящей; обратное направление – от входящей АТС к исходящей. Первый выделенный сигнальный канал (1ВСК) – разряд Р<sub>1</sub> в КИ<sub>16</sub> для телефонных каналов с 1 по 15 (ТК<sub>1</sub> – ТК<sub>15</sub>) и Р<sub>5</sub> – для ТК<sub>16</sub> – ТК<sub>30</sub>. Второй выделенный сигнальный канал (2ВСК) – разряды Р<sub>2</sub> и Р<sub>6</sub> соответственно для ТК<sub>1</sub> – ТК<sub>15</sub> и ТК<sub>16</sub> – ТК<sub>30</sub>.

Кодирование сигналов в прямом направлении передачи приведено в табл. 4.1, а в обратном направлении – в табл. 4.2.

Таблица 4.1. Кодирование сигналов в прямом направлении передачи

№ п/п	Направ. сигнала	Название сигнала	Состояние бит		Примечание
			1ВСК	2ВСК	
1.	→	ЗАНЯТИЕ	1	0	Время распознавания 14-20 мс
2.	→	НАБОР НОМЕРА:	0	0	Импульс (пауза) принимаются, если их длительность находится в пределах 16-150 мс.
		импульс	1	0	

		пауза межцифровой ин- тервал	1	0	Принимается с длительностью более 250 мс
3.	→	РАЗЪЕДИНЕ- НИЕ	1	1	Принимается на любом этапе соединения. Время распознава- ния равно 120-500 мс
4.	→	ОТБОЙ А	0	0	Может быть принят, если встречная АТС с двусторонним отбоем. Время распознавания 200 мс

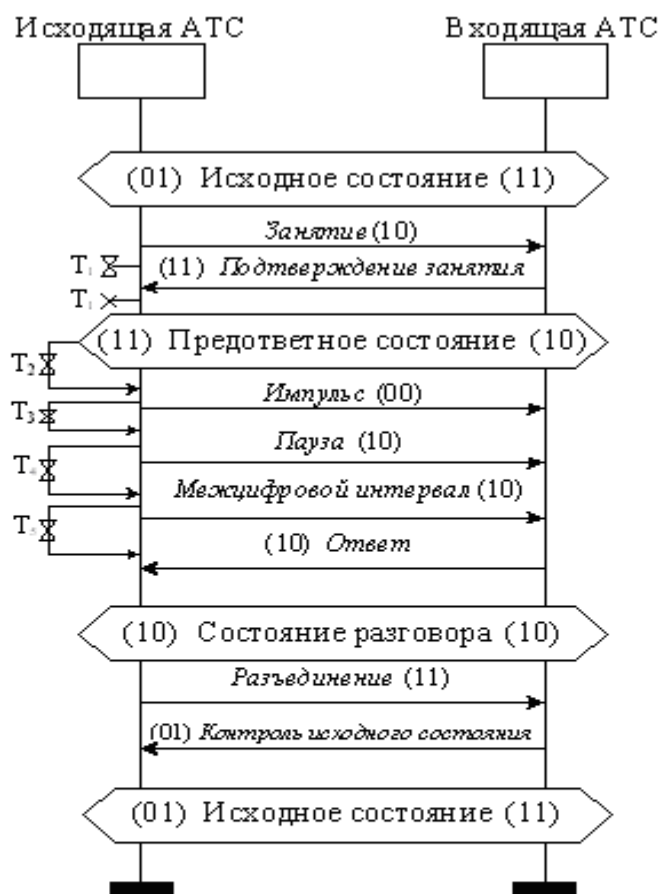
Таблица 4.2. Кодирование сигналов в обратном направлении передачи

№	Напр. сигнала	Название сигнала	Состояние бит		Примечание
			1ВС К	2ВС К	
1.	←	ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЗАНЯТИЯ	1	1	Передается через 20 мс после получения сигнала «Занятие» и занятия линии на входящей АТС
2.	←	ОТВЕТ	1	0	Сигнал передается при ответе вызываемого абонента
3.	←	ЗАНЯТОСТЬ	0	0	При занятости абонентской линии или при сбое в установ- лении соединения
4.	←	ОТБОЙ Б	0	0	Передается, если абонент Б вешает трубку во время разго- вора
5.	←	БЛОКИРОВКА	1	1	Передается в исходном стоя- нии для невозможности заня- тия линии со стороны исходя- щей АТС
6.	←	КОНТРОЛЬ ИС- ХОДНОГО СО- СТОЯНИЯ	0	1	Передается в ответ на разъ- единение при освобождении СЛ, т.е. когда АТС готова к приему нового сигнала «Заня- тие» по этой же СЛ

#### 4.4. Сценарий обмена сигналами

На рис. 4.2 показан **сценарий** обмена сигналами при установлении местного соединения и одностороннем отбое. В исходном состоянии показано, что со стороны исходящей АТС в соединительную линию поступает сигнал «Исходное

состояние» (11), а со стороны входящей АТС на исходящую посылается сигнал «Контроль исходного состояния» (01).



- $T_1$  – время ожидания сигнала подтверждения занятия 1с;  
 $T_2$  – время после приема сигнала подтверждения занятия и начала трансляции номера, 400 мс;  
 $T_3$  – время передачи импульса, 50 мс;  
 $T_4$  – время передачи паузы, 50 мс;  
 $T_5$  – время передачи межсерийного интервала не менее 700 мс.

Рис. 4.2. Сценарий обмена сигналами (местный вызов: абонент свободен, отбой вызывающего абонента)

При осуществлении попытки установления соединения со стороны исходящей АТС сигнал «Исходного состояния» (11) сменяется на сигнал «Занятие» (10), в ответ на который ожидается появление со стороны входящей АТС сигнала «Подтверждение занятия» (11), после чего система переходит в предответное состояние, характеризуемое сигналами «Занятие» (10) от исходящей АТС и 11-от входящей АТС. В случае, если передача номера вызываемого абонента осуществляется декадным кодом, сигнал «Занятие» (10) сменяется поочередно сигналами «Импульс» (00) и «Пауза» (10) или «Межцифровой интервал» (10). При этом различие между паузой и межцифровым интервалом, передаваемыми одним и тем же линейным сигналом (10), заключается только в длительности передачи.

При местном вызове принято решение о максимально возможной длительности паузы 150 мс. В случае, если длительность паузы превышает 150 мс, этот сигнал распознается как «Межцифровой интервал».

В рассматриваемом сценарии (абонент Б свободен, первым даёт отбой абонент А) появляется сигнал «Ответ» (10), после чего система переходит в состояние разговора.

При отбое абонента А появляется линейный сигнал «Разъединение» (11), ответом на который служит сигнал «Контроль исходного состояния» (01), а система переходит в исходное состояние.

#### **Задание №4**

1. Используя сценарий обмена сигналами (Рис. 4.2), рассчитать длительность занятия ИКМ-канала при трансляции телефонного номера Вашего стационарного телефонного аппарата при наборе номера с помощью дискового номеронабирателя. При отсутствии стационарного телефонного аппарата можно использовать номер Вашего мобильного аппарата.

2. Уметь ответить на контрольные вопросы.

#### **Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте сущность теоремы В.А. Котельникова.
2. Для чего производится квантование сигналов?
3. Сколько должно быть уровней квантования, чтобы каждый отсчет на выходе квантователя можно было кодировать семиразрядным кодом? Девятиразрядным кодом?
4. Что такое шумы квантования?
5. Как рассчитать период дискретизации аналогового сигнала?
6. Какова скорость импульсной последовательности на выходе электронного ключа?
7. С какой целью устанавливается преобразователь кода?
8. В каком цикле и в каких разрядах организуются 2ВСК для 16 телефонного канала?
9. Рассчитайте число бит, которые передаются в первом сигнальном канале за длительность импульса набора номера  $t_n=60\text{мс}$ .
10. Какие двоичные сигналы передаются в прямом и обратном направлениях передачи по цифровому каналу в исходном состоянии?

## 5. Тактовая сетевая синхронизация на цифровой сети связи

### 5.1. Основные определения

*Синхронизацией* называется процесс подстройки моментов цифрового сигнала для установления и поддержания требуемых временных соотношений.

*Тактовая синхронизация* – это процесс установления точного временного соответствия между принимаемым сигналом и последовательностью тактовых импульсов. Под тактовыми импульсами понимаются периодически повторяющиеся импульсы с частотой, равной частоте повторения битов в информационном сигнале [12].

*Тактовая сетевая синхронизация (ТСС)* – процесс обеспечения сигналами синхронизации средств связи сети связи общего пользования (ССОП).

Необходимость в тактовой сетевой синхронизации возникает при интеграции цифровых систем передачи с цифровыми системами коммутации в единую цифровую сеть связи.

С помощью ТСС обеспечивается установка и поддержание определенной тактовой частоты цифровых сигналов, которые предназначены для цифровой коммутации, цифрового транзита и синхронного объединения, с тем, чтобы временные соотношения между этими сигналами не выходили за определенные пределы, установленные МСЭ-Т.

*Система тактовой сетевой синхронизации (система ТСС)* – технологическая система, предназначенная для формирования, распределения, приёма и восстановления сигналов синхронизации в целях обеспечения целостности, устойчивости функционирования и безопасности единой сети электросвязи Российской Федерации.

*Сеть тактовой сетевой синхронизации (сеть ТСС)* – элемент системы ТСС, который определяет направления, разрешенные для приёма сигналов синхронизации средствами связи. Сеть ТСС состоит из линий связи и технических средств ТСС, восстанавливающих параметры сигналов синхронизации, искаженных при их распространении по линиям связи, а также формирующих необходимое количество сигналов синхронизации для их распределения между средствами связи.

*Сигнал тактовой сетевой синхронизации* – периодический сигнал тактовой частоты 2048 кГц или поток со скоростью 2048 кбит/с, структурированный по циклам и сверхциклам, формируемый задающим генератором для обеспечения синхронной работы средств связи.

Все операции по обработке сигналов в цифровых системах передачи и коммутации должны выполняться в строгой последовательности во времени и синхронно. Во всех системах передачи с временным разделением каналов приемное оборудование всегда должно работать синхронно с передающим. На каж-

дой цифровой коммутационной станции скорость обработки сигналов задается одним стационарным генератором.

Для выравнивания скоростей передачи на стыках включаются устройства буферной памяти (БП) так, что запись входной информации в БП происходит на скорости приходящего сигнала, а списывание – на скорости местного генератора.

*Проскальзывание* – исключение или повторение и цифровом сигнале одного или нескольких бит, происходящее вследствие различия в скоростях записи и считывания устройств буферной памяти. В идеально работающей синхронной цифровой сети возможность проскальзываний исключена. Однако МСЭ-Т допускает в известных пределах нарушения в работе синхронизации и в рекомендации G.822 нормирует проскальзывания.

## 5.2. Режимы работы сети тактовой сетевой синхронизации

В рекомендации МСЭ-Т G.803 определены четыре режима работы сети синхронизации: синхронный; псевдосинхронный; плезиохронный и асинхронный (рис. 5.1).

Режимы синхронизации различаются точностью установки частоты (относительным отклонением частоты – *FFO- Fractional Frequency Offset*)

$$K_f = \Delta f / f_n,$$

где  $\Delta f$  – отклонение реальной частоты от его номинального значения;

$f_n$  – номинальное значение частоты.

*Синхронный режим* является нормальным режимом работы цифровой сети, при котором проскальзывания носят только случайный характер. Этот режим используется в пределах *регионов синхронизации*, границы которых совпадают с границами национальных цифровых сетей государств средних размеров.

*Псевдосинхронный режим* имеет место, когда на цифровой сети независимо друг от друга работают два (или несколько) генераторов, точность установки частоты которых не хуже  $1 \times 10^{-11}$  в соответствии с Рек. G.811. Такой режим работы возникает, например, при соединении двух независимых синхронных национальных сетей или регионов синхронизации одной национальной сети.

На псевдосинхронной сети ухудшение качества для всех видов связи за счет расхождения частот будет практически неощутимо малым (одно проскальзывание за 70 суток) по сравнению со всеми другими нарушениями в передаче сигналов.

*Плезиохронный режим* работы возникает на цифровой сети, когда генератор ведомого узла полностью теряет возможность внешней принудительной синхронизации вследствие отказов как основного, так и всех резервных путей синхронизации. В этом случае генератор переходит в так называемый режим удержания частоты (*holdover mode*), при котором запоминается частота сети принудительной синхронизации.

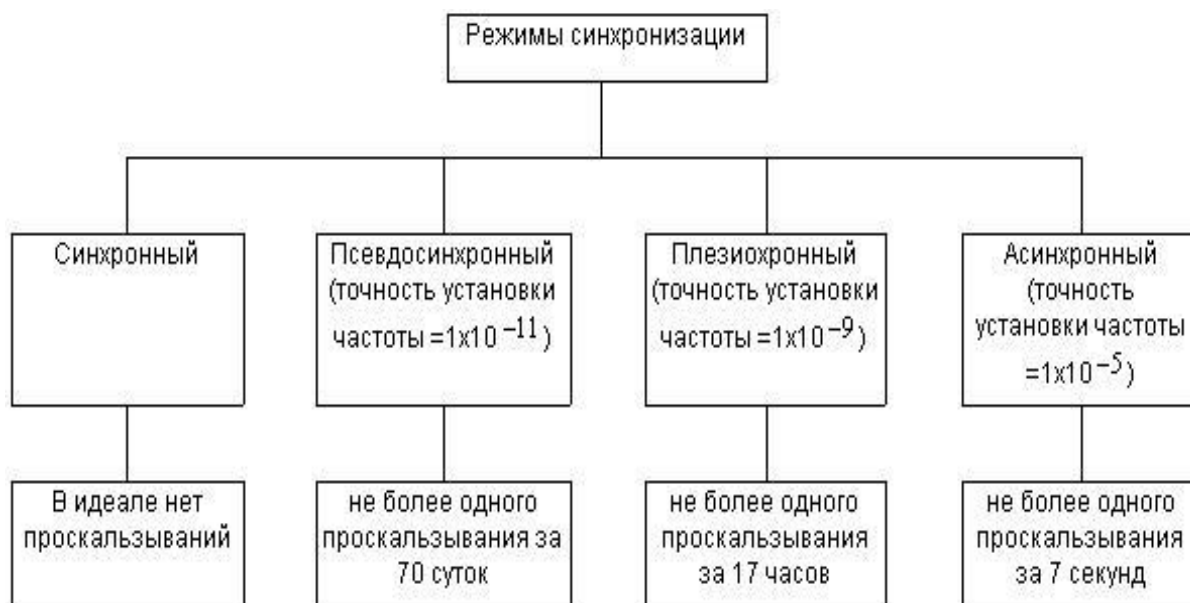


Рис. 5.1. Режимы работы сети синхронизации

По мере ухода с течением времени частоты вследствие дрейфа от величины, зафиксированной в начальный момент в памяти, генератор переходит в так называемый свободный режим (*free-run mode*). Поэтому для соблюдения Рек. G.822 длительность работы в режиме удержания должна быть ограничена во времени (не более нескольких суток).

*Асинхронный режим* характеризуется значительно большим расхождением частот генераторов и на цифровой сети России неприменим.

### 5.3. Источники сигналов синхронизации

*Первичный эталонный источник (ПЭИ) (PRS)* – техническое средство ТСС, формирующее эталонные сигналы синхронизации с помощью квантовых стандартов частоты (цезиевых генераторов, водородных мазеров) или с помощью сигналов, поступающих от приемников спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS.

*Первичный эталонный генератор (ПЭГ) (PRC)* – техническое средство ТСС *первого уровня иерархии*, выполняющее функции формирования эталонных сигналов синхронизации и контроля их качества, выбора сигнала синхронизации от одного из ПЭИ, входящего в состав ПЭГ. ПЭГ состоит из трех ПЭИ и одного ВЗГ.

*Вторичный задающий генератор (ВЗГ) (SSU-T)*, – техническое средство ТСС *второго уровня иерархии*, выполняющее функции восстановления, размножения, резервирования и контроля входных сигналов синхронизации, а также резервного источника синхронизации (в режиме запоминания частоты) для фрагмента сети ТСС.

ВЗГ может выполнять функцию источника эталонных сигналов синхронизации при наличии в его составе встроенного приёмника сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS.

*Местный задающий генератор (МЗГ) (SSU-L)* – техническое средство ТСС *третьего уровня иерархии*, выполняющее функции восстановления, распределения сигналов синхронизации в пределах узла связи, а также резервного источника синхронизации (в режиме запоминания частоты) для фрагмента сети ТСС.

*Генератор сетевого элемента (ГСЭ) средств связи СЦИ (SDH)* – задающий генератор средств связи синхронной цифровой иерархии, отнесённый к *четвертому уровню иерархии* сети ТСС, управляющий формированием выходных сигналов в средствах связи СЦИ и обеспечивающий выбор сигнала синхронизации из сигналов, которые предназначены для использования в мультиплексорах СЦИ при синхронизации внутренних модулей, а также для формирования сигнала синхронизации на внешних выходах синхронизации.

Генератор сетевого элемента (ГСЭ) средств связи, использующих технологию *синхронного Ethernet (EEC)* – задающий генератор *четвертого уровня иерархии*, управляющий формированием выходных сигналов в средствах связи с технологией *SyncE* и обеспечивает выбор сигнала синхронизации из сигналов, которые предназначены для использования *SyncE*. С помощью данного типа ГСЭ синхронизируются передаваемые потоки *Gigabit Ethernet (GE)*, а также формируются сигналы синхронизации на внешних выходах синхронизации.

*Распределитель сигналов синхронизации (РСС)* – распределитель сигналов синхронизации является техническим средством ТСС, предназначенным для выбора сигнала синхронизации из нескольких входных сигналов и распределение его на внешние выходы синхронизации.

*Преобразователь сигналов синхронизации (ПСС)* – техническое средство ТСС или функциональный модуль мультиплексора СЦИ, осуществляющий восстановление тактовой частоты в первичном цифровом тракте *E1* с помощью внешнего или от ГСЭ сигнала синхронизации, и обеспечивающий формирование информационного потока 2048 кбит/с с восстановленным значением тактовой частоты.

*Блок сетевой синхронизации (БСС)* средства связи, выполняющего функции системы коммутации.

*Эталонный сигнал синхронизации* – сигнал синхронизации, относительное отклонение частоты которого на семисуточном и более длительных временных интервалах не превышает  $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ .

Передача сигналов синхронизации по системам электросвязи синхронной цифровой иерархии (СЦИ) осуществляется в линейных сигналах синхронных транспортных модулей (далее – *STM-N*, где *N*: 1, 4, 16, 64 и т.д.).

Передача сигналов синхронизации по системам электросвязи плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ) осуществляется в первичном цифровом тракте 2048 кбит/с. Сигнал синхронизации, переданный по ПЦИ, не должен поступать в СЦИ или *SyncE* без восстановления его в ВЗГ, МЗГ или в БСС средств связи, выполняющих функции систем коммутации



Передача сигналов синхронизации по системам электросвязи синхронного *Ethernet* осуществляется в информационных потоках *Gigabit Ethernet*.

По точности запоминания и допустимому дрейфу частоты генераторы транзитных и местных станций, относящиеся соответственно ко второму и третьему иерархическим уровням, должны удовлетворять согласно Рек. G.812 следующим требованиям (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Точность запоминания и допустимый дрейф частоты генераторов

Тип станции	Точность запоминания	Суточный дрейф
Транзитная	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$
Местная	$1 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$

#### 5.4. Основные характеристики системы тактовой сетевой синхронизации

Основными характеристиками системы ТСС являются:

- *относительное отклонение частоты* – отношение разности между реальной частотой сигнала и заданной номинальной частотой к заданной номинальной частоте;
- *максимальная ошибка временного интервала (МОВИ)* – максимальное значение ошибки временного интервала измеряемого сигнала для определяемого интервала при заданном времени наблюдения;
- *девиация временного интервала (ДВИ)* – значение ожидаемого (наиболее вероятного) изменения длительности определённого временного интервала в измеряемом сигнале.

Фактические значения характеристик синхросигналов - МОВИ, ДВИ,  $\Delta f/f_n$  должны соответствовать Рекомендации МСЭ-Т G.823.

Ниже приведены предельно допустимые значения параметров сигналов синхронизации на выходах ВЗГ, МЗГ:

МОВИ (нс)	Интервал наблюдения $\tau$ (с)
25	$0,1 < \tau \leq 2,5$
$10 \tau$	$2,5 < \tau \leq 200$
2000	$200 < \tau \leq 2000$
$433 \tau^{0,2} + 0,01\tau$	$\tau > 2\,000$

ДВИ (нс)	Интервал наблюдения $\tau$ (с)
3	$0,1 < \tau \leq 4,3$
$0,7 \tau$	$4,3 < \tau \leq 100$
$58 + 1,2 \tau^{0,5} + 0,0003\tau$	$100 < \tau \leq 1\,000\,000$

Предельно допустимые значения параметров сигналов синхронизации на выходах средств связи СЦИ и *SyncE* [17]:

МОВИ (нс)	Интервал наблюдения $\tau$ (с)
250	$0,1 < \tau \leq 2,5$
$100 \tau$	$2,5 < \tau \leq 20$
2 000	$20 < \tau \leq 2000$
$433\tau^{0,2} + 0,01\tau$	$\tau > 2\,000$
ДВИ (нс)	Интервал наблюдения $\tau$ (с)
12	$0,1 < \tau \leq 17,14$
$0,7 \tau$	$17,14 < \tau \leq 100$
$58 + 1,2 \tau^{0,5} + 0,0003\tau$	$100 < \tau \leq 1\,000\,000$

Предельно допустимое относительное отклонение частоты сигналов, используемых для синхронизации базовых станций сетей подвижной радиотелефонной связи и передающего оборудования для цифрового наземного телевизионного вещания стандартов *DVB-T*, *DVB-T2*, не должно превышать  $1,6 \cdot 10^{-8}$ . При заданном отклонении частоты сигналов синхронизации базовых станций и передающего оборудования относительное отклонение частоты их выходных сигналов не должно превышать  $5,0 \cdot 10^{-8}$ .

## 5.5. Регионы синхронизации

*Сеть тактовой сетевой синхронизации* России разбивается на регионы синхронизации, в каждом из которых синхросигналы поступают от первичного эталонного генератора (ПЭГ) непосредственно или с помощью вторичных задающих генераторов (ВЗГ). Пример разбиения территории Российской Федерации на регионы синхронизации приведен на рис. 6. 2.

В каждом регионе синхронизации организуется синхронная работа по принципу иерархической принудительной синхронизации (*Master Slave*).

Регионы между собой должны работать в псевдосинхронном режиме. У каждого ПЭГ точность установки частоты лучше, чем  $1 \cdot 10^{-11}$ .

Количество последовательно включаемых ВЗГ в цепочке от ПЭГ до последней станции местной сети ограничено и не может превышать 10.

Синхросигналы от ПЭГ и ВЗГ передаются во все направления и на все цифровые узлы и станции, связанные с данным ПЭГ или ВЗГ по системам СЦИ. Количество направлений передачи сигналов синхронизации ограничивается только системой организации связи.

Для синхронизации всего оборудования, установленного на узле или станции, должен использоваться один источник сигналов синхронизации

(последовательный переприем сигналов синхронизации не допустим). Схема соединений должна иметь вид «звезды» с расходящимися лучами.

Схема синхронизации в регионе должна иметь древовидную форму без замкнутых колец. Разветвление происходит в каждом узле, где установлен ВЗГ. К каждому ВЗГ синхронизирующие сигналы должны поступать минимум по двум пространственно разнесенным направлениям.

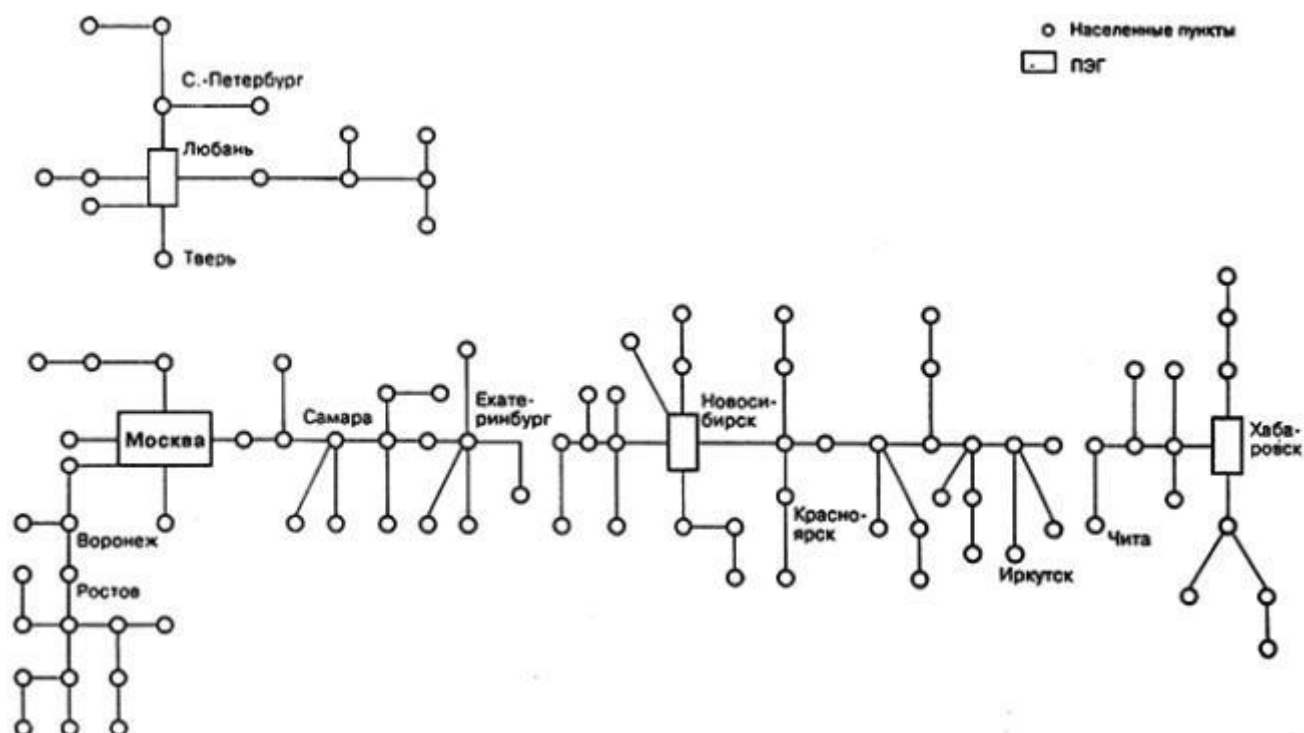


Рис. 5.2. Первый этап сети синхронизации ПАО «Ростелеком»

В восстановлении сигналов синхронизации, приходящих по сети СЦИ, кроме ВЗГ принимают участие генераторы сетевых элементов (ГСЭ) СЦИ. ГСЭ должен синхронизироваться от ПЭГ, ВЗГ или предыдущего ГСЭ, включенного в цепочку. В системе синхронизации должна соблюдаться определенная иерархия в распространении сигналов синхронизации: от ПЭГ синхронизируется, в основном, магистральная сеть, от магистральной сети синхронизируются внутризональные, а от внутризональных или магистральной – местные сети.

Для обеспечения живучести сети синхронизации должны быть предусмотрены резервные пути передачи сигналов синхронизации, в том числе и от ПЭГ соседних регионов. В каждом регионе синхронизации устанавливается свой первичный эталонный генератор. От этого генератора должны синхронизироваться, непосредственно или через промежуточные пункты, все входящие в цифровую сеть узлы и станции, которые расположены на территории данного региона.

Каждый ПЭГ должен удовлетворять Рек. G.811. При этом каждый регион может самостоятельно и полноценно работать в псевдосинхронном режиме с международной цифровой сетью. Точно так же обеспечивается

псевдосинхронное взаимодействие регионов между собой. В качестве ПЭГ может использоваться оборудование синхронизации, оснащенное цезиевыми стандартами частоты или управляемое сигналами от источника Всемирного координированного времени. При этом обеспечивается точность установки и поддержания частоты не хуже, чем  $1 \cdot 10^{-11}$ .

Высокая точность установки и поддержания номинала тактовой частоты обеспечивается использованием в ПЭГ не менее 3-х эталонных источников этой частоты и проведением их непрерывного сличения между собой. В качестве источников эталонной частоты в ПЭГ могут использоваться цезиевые стандарты частоты или приемники эталонного сигнала из эфира или линий связи.

Сличение частот сигналов, формируемых источниками эталонной частоты между собой, должно обеспечиваться средствами аппаратуры ПЭГ с помощью измерительных устройств или программного обеспечения. Проверка цезиевых стандартов частоты по Всемирному координированному времени возложена на Институт мер времени и пространства, который отвечает за точность установки частоты всех вторичных и рабочих стандартов частоты на территории Российской Федерации.

Внутри каждого региона сеть принудительной синхронизации должна строиться по иерархическому принципу по древовидной (радиально-узловой) схеме, исключающей возможность образования замкнутых петель в любой ситуации. Система синхронизации не накладывает никаких ограничений на количество ветвей, исходящих из каждого узла. В основании такого дерева должен стоять ПЭГ, а в узлах разветвления ВЗГ – аппаратура синхронизации 2-го уровня иерархии.

В качестве ведомых генераторов на ЗУС, МГУС и МНУС могут использоваться, как правило, блоки сетевой синхронизации (БСС), встроенные в аппаратуру коммутации и удовлетворяющие Рек. G.812.

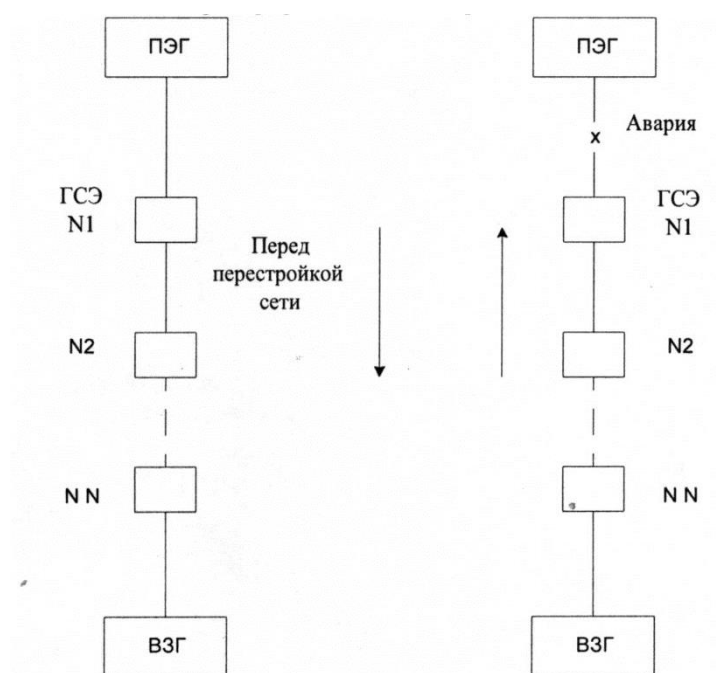
## **5.6. Передача синхросигналов по приоритетному принципу**

В аппаратуре синхронизации можно выбирать входной синхросигнал из группы сигналов, поступающих к ней на входы. Выбор сигнала синхронизации производится в зависимости от установленного приоритета.

*Первым приоритетом* для аппаратуры синхронизации обычно устанавливается сигнал синхронизации, поступающий от первичного эталонного генератора по самому короткому и качественному маршруту, где по пути следования синхросигнала установлено как можно меньше промежуточных ВЗГ.

Для коммутационных станций и аппаратуры кроссовой коммутации первым приоритетом служит сигнал синхронизации, поступающий от оборудования синхронизации, установленного на данном узле или станции. Для генераторов сетевых элементов систем передачи СЦИ первым приоритетом является сигнал, поступающий со стороны ПЭГ.

Вторым приоритетом для аппаратуры синхронизации может служить сигнал, поступающий от ПЭГ по другому маршруту. Для цифровой коммутационной станции – это один из сигналов, несущих синхрои́нформацию ПЭГ. Для генераторов сетевых элементов СЦИ – это другое направление передачи (рис. 5.3). ВЗГ и цифровые коммутационные станции могут принимать синхросигнал 3-го, 4-го и т.д. приоритетов. Последним приоритетом в любом оборудовании синхронизации является собственный задающий генератор, работающий в режиме запоминания частоты синхросигнала.



Обозначения:

**ПЭГ** – первичный эталонный генератор;

**ВЗГ** – вторичный задающий генератор;

Рис. 5.3. Пример изменения направления синхронизации в СЦИ

## 5.7. Синхронизация в системах передачи синхронной цифровой иерархии

**Варианты получения и выдачи синхросигналов в мультиплексорах.** Система синхронизации сети для уменьшения проскальзываний по возможности должна использовать общий источник синхросигналов. При этом необходимо исключить закливание синхросигналов. Рассмотрим типовую схему синхронизации участка транспортной сети при дуплексной передаче данных (рис. 5.4-а).

В этой схеме начальный и конечный узлы участка транспортной сети синхронизируются от генераторов Г наивысшего уровня точности и стабильности (слева – ПЭГ, справа – ВЗГ).

Данные, смешанные с синхросигналами, передаются между мультиплексорами (М) одновременно в обе стороны, т.е. в дуплексном режиме. Каждый мультиплексор (рис. 5.4-б) принимает линейные сигналы с обоих направлений, выделяет из них данные и синхроимпульсы. Для восстановления правильной синхронизации используются блоки буферной памяти. Штриховые линии отражают возможные пути передачи синхросигналов.

Каждый мультиплексор содержит генератор сетевого элемента (ГСЭ), который используется кратковременно и только в критических ситуациях, в процессе оперативной автоматической замены источника синхронизации.

При нормальной работе этот генератор выключен. Для синхронизации выходных сигналов применяется синхросигнал, выделенный из входного, поступающего справа или слева, в соответствии с присвоенными им приоритетами. В примере (рис. 5.4-б) высокий приоритет ВП присвоен левому, а низкий НП – правому входам мультиплексора.

Промежуточный мультиплексор можно настроить на работу в одном из трёх режимов (рис. 5.4-в, г, д). В первом режиме (рис. 5.4-в) для общей синхронизации используется сигнал с высокоприоритетного входа ВП.

Синхроимпульсы, выделенные из сигнала с низкоприоритетного входа НП, заносятся в буферную память и далее не распространяются, что условно отражено на рисунке «крестиком». Сплошными линиями показана трасса распространения основного синхросигнала.

Во втором и третьем режимах (рис. 5.4-г и д) для общей синхронизации используются соответственно сигналы от генератора ГСЭ и с низкоприоритетного входа (НП).

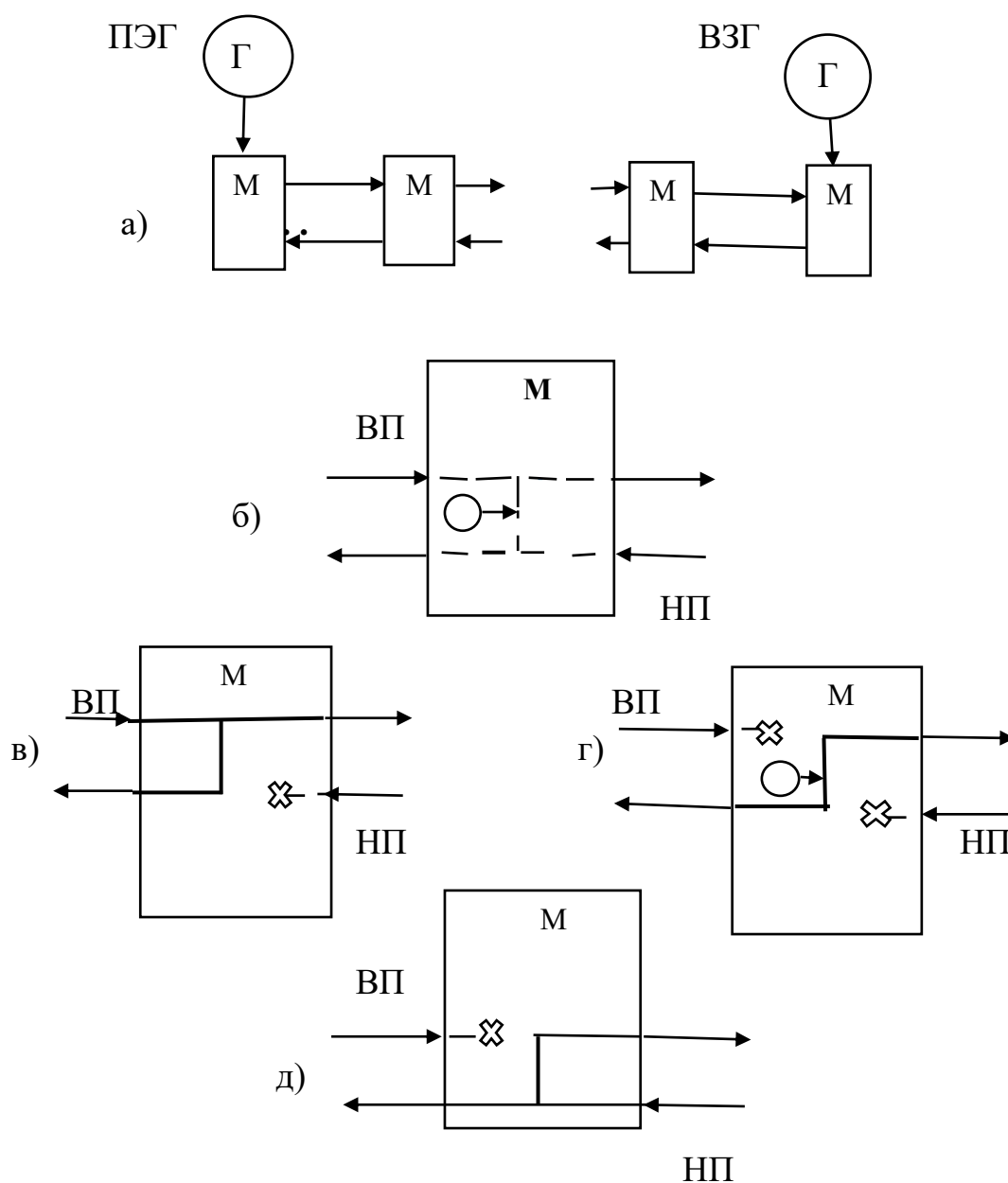


Рис. 5. 4. Схема синхронизации участка транспортной сети

а) – последовательно включённые мультиплексоры (М); б) – структура М; в), г), д) – варианты настройки М;  $\bigcirc \rightarrow$  – обозначение МЗГ; ВП –высокий приоритет; НП – низкий приоритет.

**Зацикливание синхросигналов.** Появление циклов поясняется на рис. 5.5. На рис. 6.5-а показано работоспособное состояние участка сети, состоящего из четырёх мультиплексоров  $M_1 - M_4$ . Мультиплексоры  $M_1$  и  $M_4$  синхронизируются непосредственно от генераторов ПЭГ<sub>1</sub> и ПЭГ<sub>2</sub>.

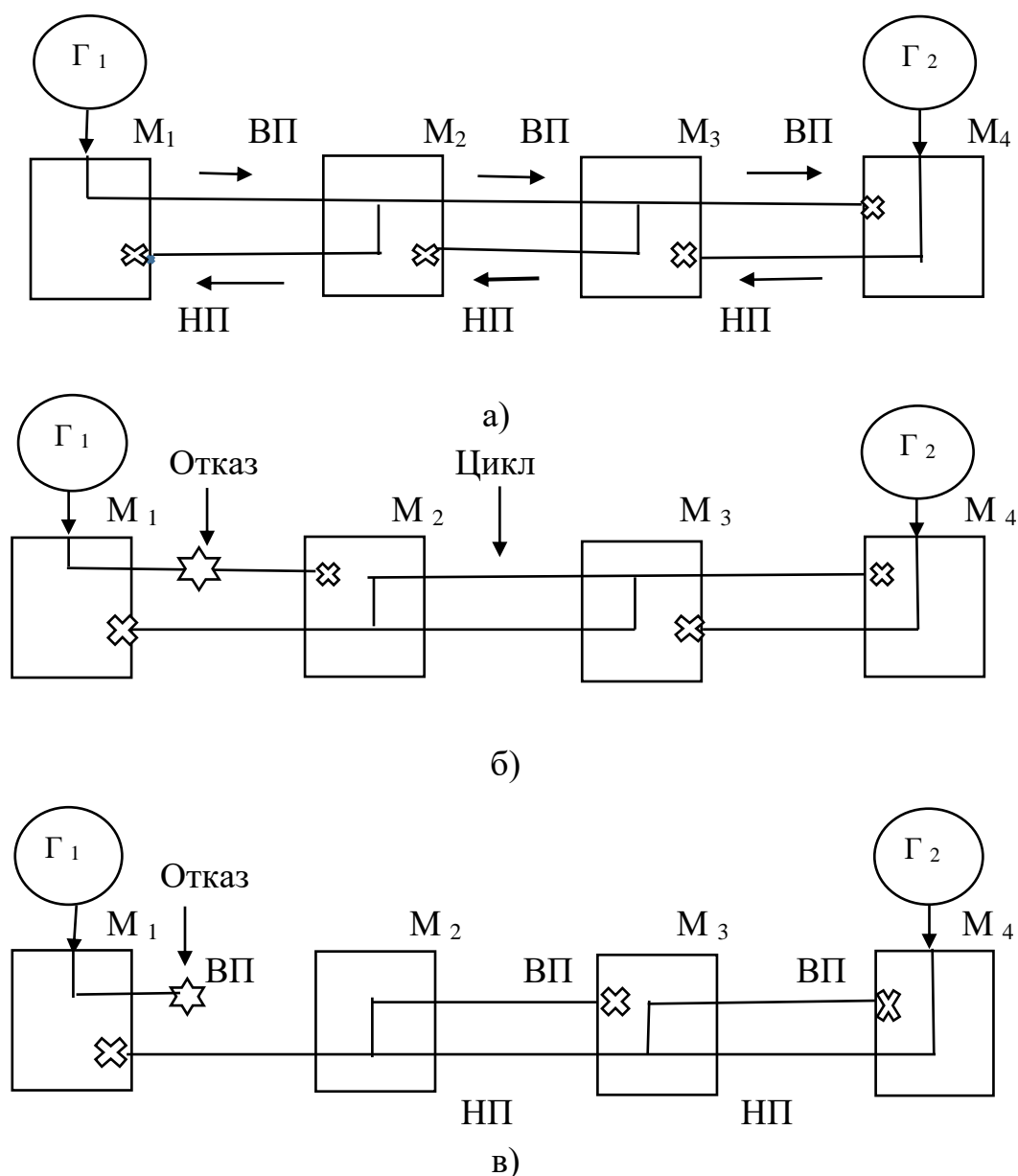


Рис. 5. 5. Схемы синхронизации при отказе канала связи

а) исходное (работоспособное) состояние цепи;

б) зацикливание синхросигналов после отказа канала;

в) конечное состояние после адаптации.

В мультиплексорах  $M_2$  и  $M_3$  (рис. 5.5-а) для синхронизации выходных сигналов используются импульсы, выделенные с высокоприоритетных входов ВП. Синхросигналы с низкоприоритетных входов НП используются только для ввода данных в буферную память и дальше не передаются.

Таким образом, все мультиплексоры, показанные на рис. 6.5-а, синхронизируются сигналами уровня ПЭГ: мультиплексоры  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$  – от генератора  $\Gamma_1$ , а  $M_4$  – от генератора  $\Gamma_2$ .



Предположим, что канал связи между  $M_1$  и  $M_2$  перестал работать. Если оператор примет самое простое, но не продуманное решение: в мультиплексоре  $M_2$  в ответ на пропадание высокоприоритетного сигнала с входа ВП переключится на низкоприоритетный сигнал с входа НП. После такого переключения образуется цикл, не содержащий связи с опорными генераторами  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ .

Избежать закливания синхросигналов позволяет Система управления ТСС, состоящая из устройств контроля и управления. В рассматриваемом примере система автоматического управления ТСС примет решение, показанное на рис. 6.5-в.

**Синхронизация кольцевых структур.** На рис. 5.6 показана кольцевая структура СЦИ из 6 мультиплексоров:  $M_1$  получает синхросигналы непосредственно от генератора  $\Gamma$  (ПЭГ), а остальные мультиплексоры – косвенно, выделяя их из передаваемой по линии смеси данных и синхроимпульсов. Возникновение циклов предотвращается приданием статуса *DUS* (*Do not Use for Sync* – не использовать для синхронизации) синхросигналам, возвращающимся в сторону генератора  $\Gamma$ .

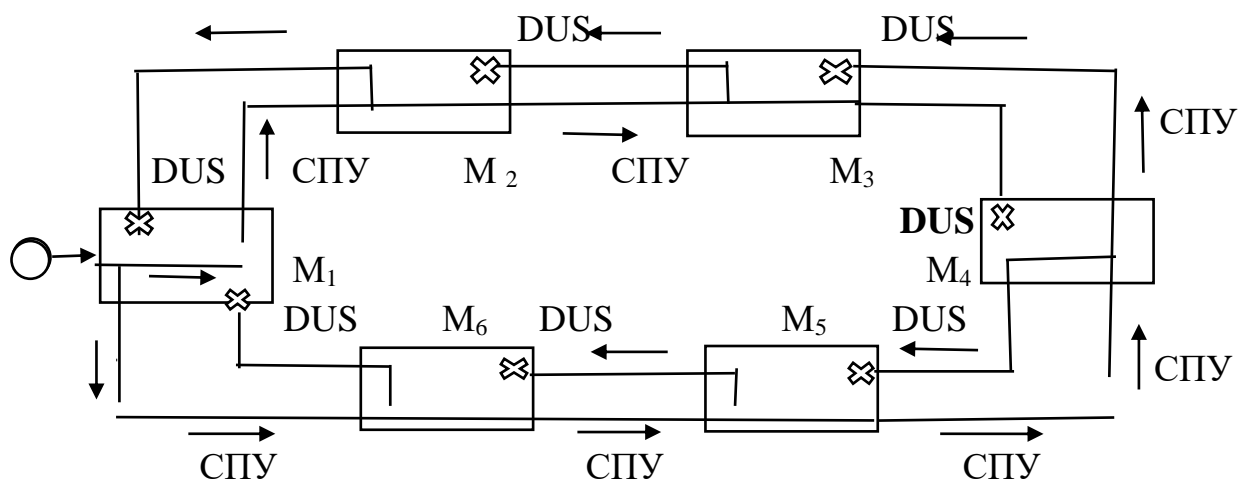


Рис. 5. 6. Схема распространения синхросигналов в кольцевой структуре  
Обозначения:  $\otimes$  — *DUS*;  $\bigcirc \rightarrow$   $\Gamma$  –генератор; СПУ – синхросигнал первого уровня.

Рассмотрим поведение системы синхронизации в трёх нештатных ситуациях (А, В, С).

**Ситуация А.** Предположим, что в генераторе отказал приёмник сигналов от спутниковой глобальной системы позиционирования ГЛОНАСС/*GPS*. Генератор будет продолжать работать в автономном режиме. О возможном снижении качества синхросигналов будет сообщено всем мультиплексорам. Все

мультиплексоры принимают эту информацию к сведению, но за неимением лучшего синхросигнала продолжают работать в тех же режимах, что и ранее. Кольцевая структура остаётся работоспособной.

*Ситуация В.* Предположим, что генератор отказал. В этом случае система управления ТСС в зависимости от качества линии может принять одно из следующих решений: 1) обеспечить передачу синхросигналов от ГСЭ мультиплексора  $M_1$ ; 2) перевести в рабочее состояние ГСЭ во всех мультиплексорах. Кольцевая структура и в этой ситуации остаётся работоспособной.

*Ситуация С.* Предположим, что отказал мультиплексор  $M_1$ . В этом случае во всех остальных мультиплексорах включаются в работу ГСЭ и кольцевая структура остаётся работоспособной.

Здесь рассмотрены простейшие способы синхронизации в кольцевых структурах. Более сложные способы синхронизации рассмотрены в [14].

## **5.8. Синхронизация на местных телефонных сетях**

**Принципы построения ТСС на местной телефонной сети.** Система ТСС на местной цифровой телефонной сети должна быть построена по принципу принудительной иерархической синхронизации.

Количество последовательно включенных ведомых генераторов на местной сети не должно превышать четырех при нормальной работе и шести – при авариях.

Для обеспечения живучести сети синхронизации должны быть предусмотрены резервные ведущие генераторы и резервные пути передачи сигналов синхронизации.

Для передачи синхросигналов могут быть использованы системы синхронной цифровой иерархий (СЦИ), в которых эти функции выполняют линейные сигналы. В аппаратуре СЦИ для приема сигналов синхронизации и их передачи на цифровые АТС имеется специальный выход 2048 кГц. Сигнал на информационном выходе 2048 кбит/с подвергается обработке указателя и для целей синхронизации использоваться не должен.

На каждой ведомой АТС количество линий, используемых для целей синхронизации, должно быть не менее двух. Переключение линий синхронизации при авариях должно проводиться в соответствии с заранее определенными приоритетами линий.

На телефонных станциях местной цифровой сети используемые блоки системы синхронизации (БСС) могут быть трех типов. Основные технические характеристики блоков сетевой синхронизации БСС приведены в таблице 5.2.

На каждой станции в зависимости от ее места на сети (ЗУС, УВС, УИС, РАТС и т.д.) и в зависимости от уровня ее включения по синхронизации должен устанавливаться БСС соответствующего типа, чтобы в случаях аварий не допустить превышения величины проскальзываний и соответствующего ухудшения

Таблица 5.2. Основные требования к блокам сетевой синхронизации цифровых коммутационных станций

Параметры	Тип блока сетевой синхронизации		
	БСС-1	БСС-2	БСС-3
Относительное отклонение частоты (+/-):			
- за сутки	$3,0 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$
- за месяц	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
- за год	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Количество входов синхронизации	6	3	3
Полоса захвата, не менее (+/-)	$2 \cdot 10^{-7}$	$(1...2) \cdot 10^{-6}$	$(2...5) \cdot 10^{-6}$
Точность запоминания частоты при авариях всех входов синхронизации, не хуже (+/-)	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-8}$	—

**Принципы построения системы тактовой синхронизации на ГТС.** Городская телефонная сеть должна синхронизироваться от задающего генератора цифрового зонового узла связи (ЗУС). На ГТС без узлообразования все АТС должны соединяться по принципу каждая с каждой и синхронизироваться от ЗУС по трактам первого выбора. В качестве резервной ведущей станции выбирается одна из АТС, на которой устанавливается БСС1. На всех остальных АТС устанавливают БСС2, а трактами второго выбора являются тракты от резервной ведущей станции. Пример данного построения сети синхронизации приведен на рис. 6.7.

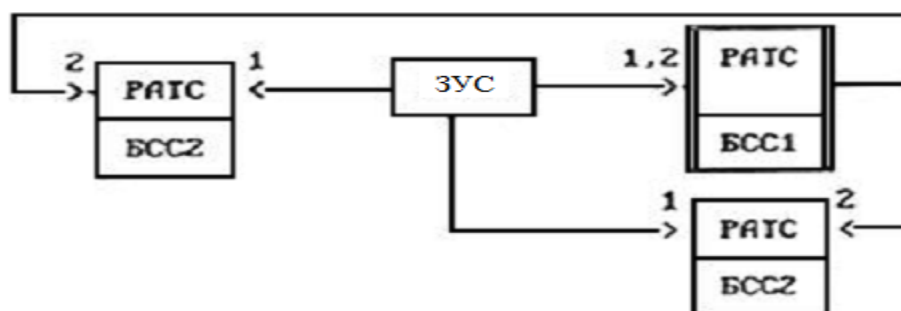


Рис. 5. 7. Пример построения сети синхронизации на ГТС без узлообразования  
*Примечание:* На рис.5.7 и последующих рис. 5.8 – 5.11 стрелками обозначено направление синхронизации, а цифрами – приоритет выбора линий синхронизации.

На районированной ГТС с узлами входящих сообщений (УВС), междуго-

родными узлами входящих сообщений (УВСМ) и заказно-соединительными линиями (ЗСЛ) для связи с ЗУС синхронизация всех станций узлового района осуществляется от ЗУС по трактам первого выбора. Резервными ведущими станциями каждого узлового района является узел и одна из РАТС. На этих станциях устанавливают БСС1. На всех остальных РАТС блоками синхронизации являются БСС2. Пример построения данной сети синхронизации приведен на рис. 5.8.

На районированной ГТС с узлами исходящих (УИС) и входящих сообщений (УВС) сеть синхронизации строится так, чтобы основной и резервной ведущими станциями являлись ЗУС и один из объединенных узлов. Все узлы по трактам первого выбора синхронизируются от ЗУС.

Резервный ведущий узел имеет в своем оборудовании блок синхронизации БСС1 и тракты синхронизации только от ЗУС.

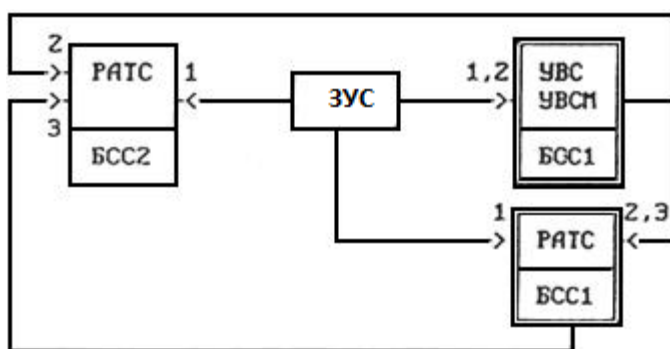


Рис. 5.8. Пример построения сети синхронизации на ГТС с УВС

Все остальные РАТС укомплектованы блоками БСС2 и синхронизируются по трактам первого выбора от ЗУС, а по трактам второго выбора – от резервного ведущего узла.

Если РАТС одного района имеют связи каждая с каждой, то одна из РАТС района выбирается резервной ведущей. Резервная ведущая РАТС синхронизируется только от узла. Все остальные РАТС районов по трактам первого выбора синхронизируются от того же узла, а по трактам второго выбора - от резервной РАТС. Вариант такой сети синхронизации приведен на рис. 5.9. В случае, когда РАТС связаны между собой только через узел, то и синхронизация осуществляется от узла.

Требования к генераторному оборудованию аппаратуры СЦИ приведены в Рек. G.812. На местной сети может быть установлено последовательно от 4 до 6 генераторов, выполненных в соответствии с Рек. G.812 и на каждом участке не более 5-6 генератором ГСЭ. Общее количество генераторов ГСЭ на местной сети не должно быть более 30.

На рис. 5.10 изображен упрощенный вариант городской сети с использованием кольцеобразной структуры, где двойными линиями изображены связи по синхронизации, а одиночными – информационные связи. Первое кольцо охватывает ЗУС, АТС городской сети и ЦС сельской сети. АТС городской сети является резервной ведущей станцией. Второе кольцо охватывает два концен-

тратора и две подстанции района. В аварийных ситуациях синхронизация осуществляется от резервной ведущей АТС.

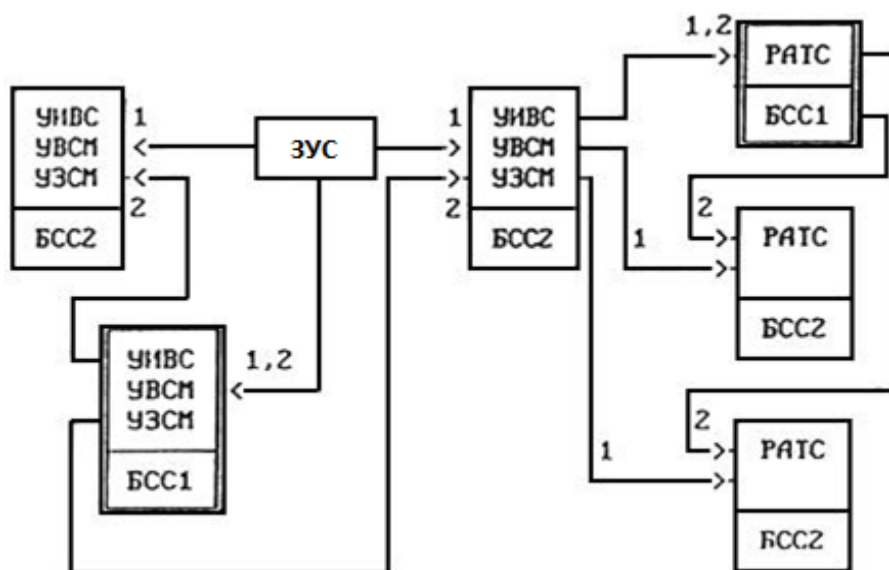


Рис. 5.9. Пример построения сети синхронизации на ГТС с УИС и УВС

Концентраторы и подстанции нижнего кольца могут поддерживать связь и синхронизацию со станциями верхнего кольца через мультиплексоры без участия районной АТС. Информация сообщений и синхронизации поступает от ЗУС и по кольцам распространяется против часовой стрелки. По синхронизации кольца разорваны. В цепи синхронизации ПС2 городской сети последовательно включены один генератор G.812 и семь генераторов ГСЭ. На сети с использованием СЦИ для синхронизации станций должны использоваться синхросигналы, содержащиеся в линейном сигнале СЦИ, и не должны использоваться сигналы 2048 кбит/с после демультиплексирования.

**Синхронизация на сельской сети связи.** Сельская телефонная сеть (СТС) должна синхронизироваться от задающего генератора ЗУС через сельско-пригородный узел (СПУ) или через центральную станцию (ЦС). В случае отсутствия цифрового ЗУС станции СТС должны синхронизироваться от генератора СПУ или от ЦС при отсутствии СПУ.

При наличии поперечных связей между отдельными цифровыми ОС по этим связям должно осуществляться резервирование по синхронизации. Пример сети синхронизации СТС приведен на рис. 5.11.

## 5.9. Классы присоединения сетей операторов связи

*Первый класс* присоединения – непосредственно от ПЭГ по пассивной СЛ с интерфейсом 2048 кбит/с или по активной СЛ по интерфейсу 2048 кбит/с. Количество последовательно включённых ВЗГ – не более 10, между двумя ВЗГ – не более 20 последовательно включённых мультиплексоров СЦИ. Максимальное число последовательно включённых мультиплексоров – 60 [18].

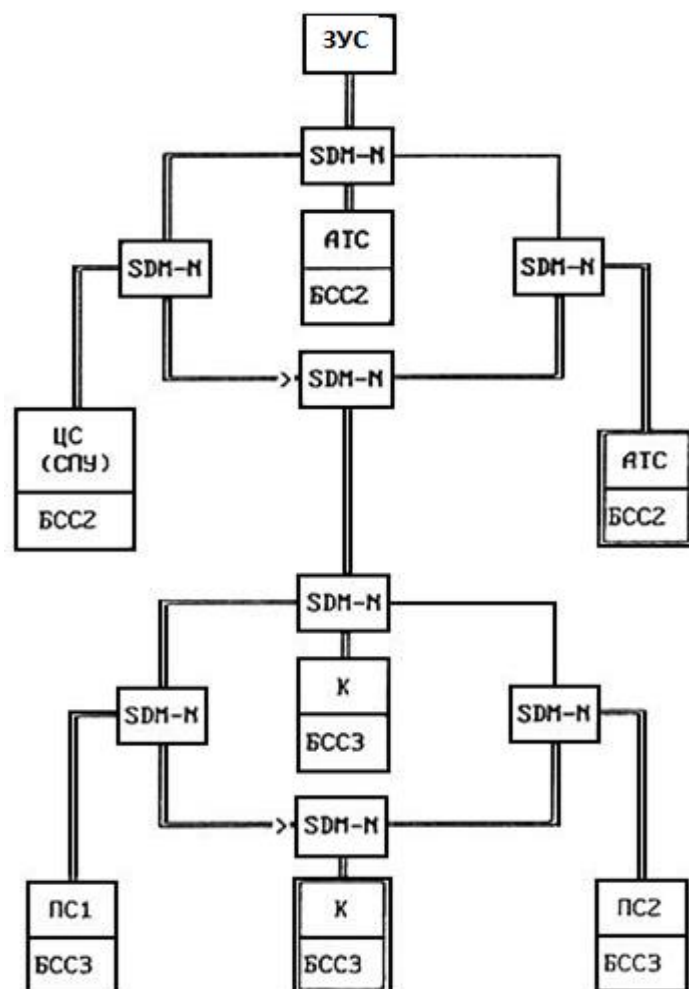


Рис. 5.10. Пример сети синхронизации на ГТС с кольцевыми структурами межстанционной связи на базе систем передачи СЦИ

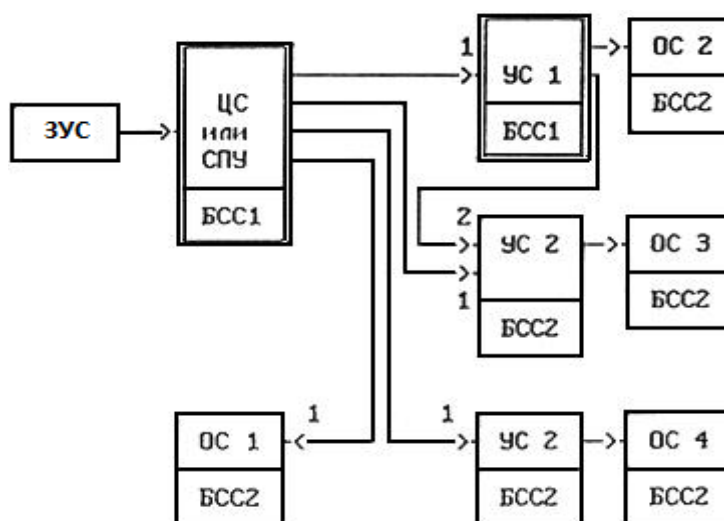


Рис. 5.11. Пример сети синхронизации на СТС

*Второй класс* присоединения – от ВЗГ, или БСС–1, или МЗГ. Количество последовательно включённых ВЗГ не более 6, между двумя ВЗГ– не более 20

мультиплексоров. Максимальное число последовательно включённых мультиплексоров на сети – 30. При присоединении к МЗГ или к БСС-1 применение ВЗГ не допускается.

*Третий класс* присоединения – к мультиплексорам СЦИ и РСС. При этом количество последовательно включённых ВЗГ должно быть не более 4, а последовательно включённых мультиплексоров – не более 20.

*Четвёртый класс* присоединения – через системы передачи ПЦИ ко входам ВЗГ или МЗГ. При этом последовательно включённых мультиплексоров должно быть не более 20.

Для наглядности условия присоединения сетей операторов приведены в таблице 5. 3.

Таблица 5. 3. Параметры присоединённых сетей операторов

№ п/п	Классы присоединения	Способы присоединения	Мах. число последоват. включённых ВЗГ	Мах. число мультиплекс. между двумя ВЗГ	Мах. число послед. вкл. мультиплекс. СЦИ на сети
1.	Первый	От ПЭГ	10	20	60
2.	Второй	От ВЗГ, БСС-1, МЗГ	6	20	30
3.	Третий	От мультиплекс. СЦИ, РСС	4	—	20
4.	Четвёртый	Через ПЦИ от ВЗГ, МЗГ	—	—	20

### Задание №5

1. Уметь ответить на контрольные вопросы.
2. На схеме рис. 5.6 уметь восстановить схему распространения синхросигналов при обрыве кабеля между любой парой мультиплексоров.
3. Показать схему распространения синхросигналов на ГТС без усложнения, схема межстанционной связи которой приведена на рис. 5.12. Записать типы используемых генераторов синхросигналов. Показать схему синхронизации при обрыве одной из линий связи от ЗУС до АТСЭ (Рис.5.12).

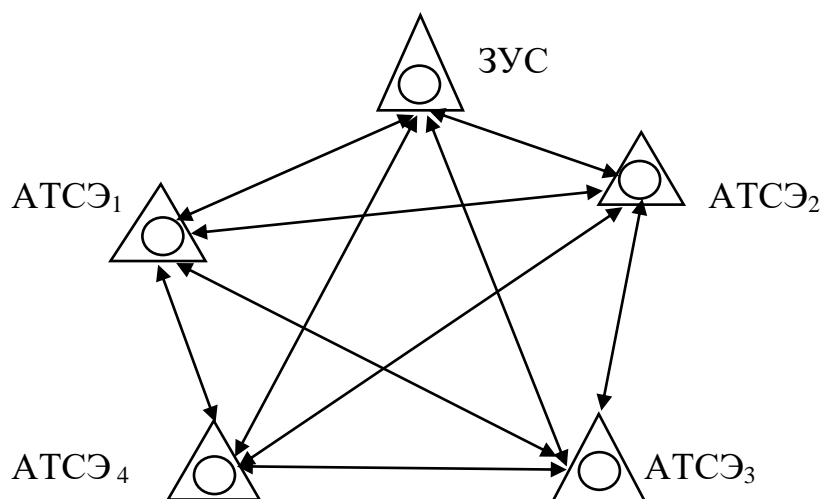


Рис. 5.12. Схема ГТС без узлообразования.

4. Показать схему распространения синхросигналов на ГТС с узлами входящих сообщений, схема межстанционной связи которой в одном узловом районе показана на рис. 5.13.

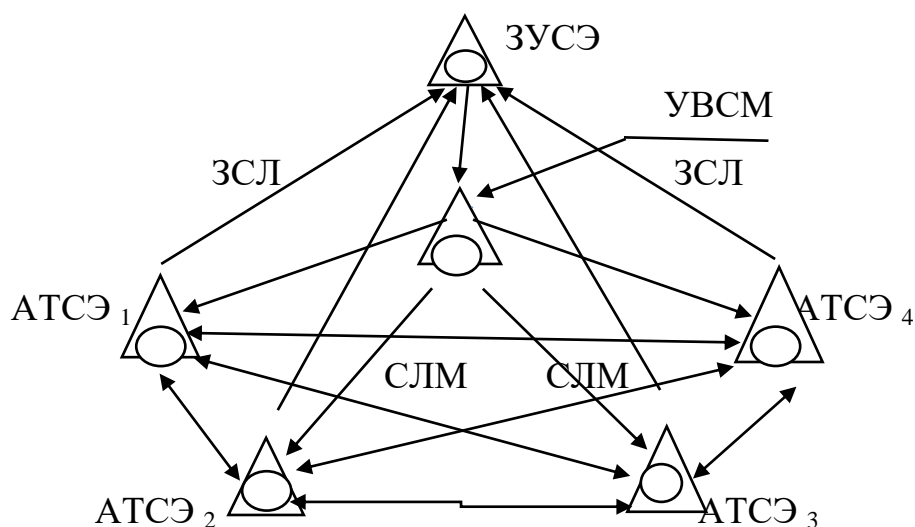


Рис. 5. 13. Схема ГТС с узлами входящих сообщений.

### Контрольные вопросы

1. Поясните, что представляет собой процесс тактовой сетевой синхронизации?
2. Назовите скорость сигналов тактовой сетевой сигнализации.
3. Что такое проскальзывание? Назовите причину проскальзывания в цифровом сигнале.
4. Поясните, по какому выражению оценивается точность установки частоты



- сигналов синхронизации?
5. Какой режим работы сети тактовой сетевой синхронизации называется синхронным?
  6. Какой режим работы сети тактовой сетевой синхронизации называется псевдосинхронным?
  7. Какой режим работы сети тактовой сетевой синхронизации называется плезиохронным?
  8. Назовите типы генераторов на разных уровнях синхронизации.
  9. При выполнении каких условий вторичный задающий генератор (ВЗГ) может выполнять функцию источника эталонных сигналов синхронизации?
  10. В каких случаях применяется режим удержания частоты?
  11. От чего зависят нормируемые значения максимальной ошибки временного интервала (МОВИ) и девиации временного интервала (ДВИ)?
  12. Что такое регион синхронизации?
  13. Какова форма схемы синхронизации в регионе синхронизации?
  14. Назовите режимы синхронизации в регионе синхронизации и при взаимодействии регионов синхронизации между собой.
  15. Поясните, в чём заключается приоритетный принцип передачи синхросигналов?
  16. Поясните схему распространения синхросигналов в кольцевой структуре.
  17. Поясните принципы построения системы тактовой синхронизации на ГТС.
  18. Поясните, по какой схеме осуществляется синхронизация оборудования в узле связи?
  19. В каких коммутационных системах устанавливаются блоки сетевой синхронизации БСС-3?
  20. Поясните, чем различаются классы присоединения сетей операторов связи?

## 6. Сети подвижной сотовой связи

### 6.1. Методы разделения ресурсов в телекоммуникационных сетях

Понятие множественного доступа (английский эквивалент *multiple access*) связано с организацией совместного использования ограниченного участка спектра частот многими пользователями. Самый старый метод доступа – **множественный доступ с частотным разделением каналов – FDMA (Frequency Division Multiple Access)**. В этом методе каждому пользователю на время передачи выделяется своя полоса частот  $\Delta f$  (частотный канал), которой он владеет безраздельно (рис. 6.1).

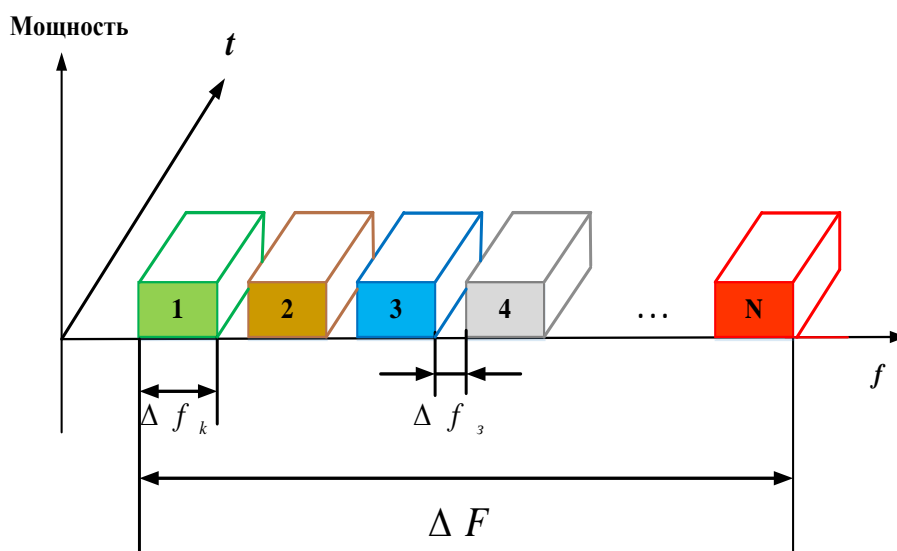


Рис. 6.1. Множественный доступ с частотным разделением каналов

Этот метод использовался во всех аналоговых системах сотовой связи первого поколения. В этом случае полоса частот составляет 10...30 кГц. Характерная особенность этого метода – наличие защитных частотных полос между соседними каналами, что уменьшает количество возможных каналов и соответственно спектральную эффективность системы. Основное слабое место *FDMA* – недостаточно эффективное использование полосы частот. При этом число пользователей может быть рассчитано по следующей формуле:

$$N_{\text{до}} = \frac{\Delta F}{\Delta f_k + \Delta f_z},$$

где  $\Delta f_k$  – полоса частот, занимаемая полезным сигналом,  $\Delta f_z$  – защитный интервал, служащий для снижения уровня помех по соседнему каналу до допустимого значения. Эта эффективность заметно повышается при переходе к более совершенному методу *TDMA*, что позволяет заметно повысить емкость системы сотовой связи.

Основное преимущество технологии *FDMA* – простота оборудования, например, по отношению к *TDMA*. При использовании *FDMA* не требуется синхронизация между каналами, так как каждый канал не зависит от остальных.

**Множественный доступ с временным разделением каналов (*TDMA* – *Time Division Multiple Access*).** Суть метода состоит в том, что каждый частотный канал разделяется по времени между несколькими пользователями, т.е. частотный канал по очереди предоставляется нескольким пользователям на определенные промежутки времени. Основная единица времени называется **кадром** (*frame*). Каждому пользователю для передачи выделяется ограниченный ресурс времени (*time slot*). Максимально возможное количество одновременно обслуживаемых абонентов равно количеству временных интервалов в кадре. Обычно количество абонентов несколько меньше, так как часто временные интервалы используются под служебные каналы (рис. 6.2).

Кадры часто организуются в структуры более высокого порядка, такие, как мультикадры, суперкадры и т.д. Особенностью метода *TDMA* является необхо-

димостью упаковывать абонентский поток данных в короткие блоки, помещаемые в выделенные временные интервалы.

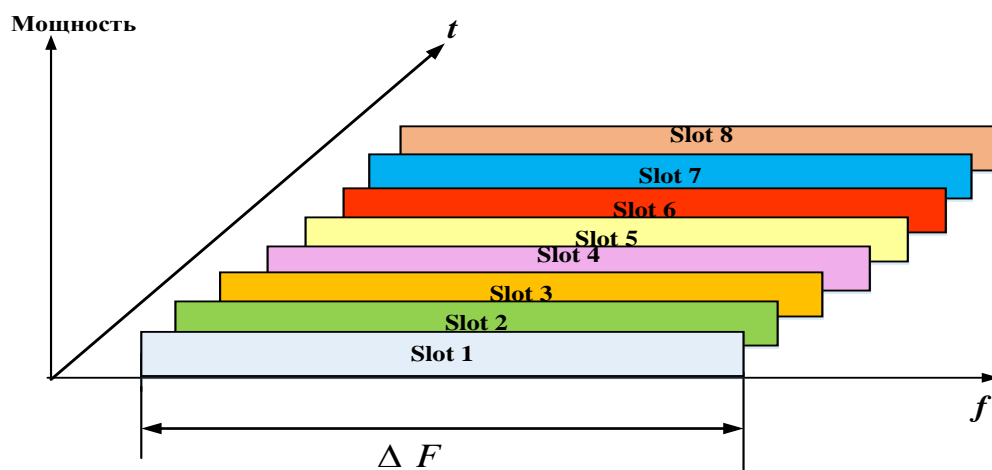


Рис. 6.2. Множественный доступ с временным разделением каналов

Если в кадре имеется  $M$  временных интервалов, то скорость передачи данных через один временной интервал должна быть в  $M$  раз выше, чем такая же скорость для одного абонента. Следствием этого факта является расширение спектра такого сигнала в  $M$  раз по сравнению с непрерывным. Поэтому спектр *TDMA* оказывается намного шире спектра сигнала *FDMA* (рис.6.3).

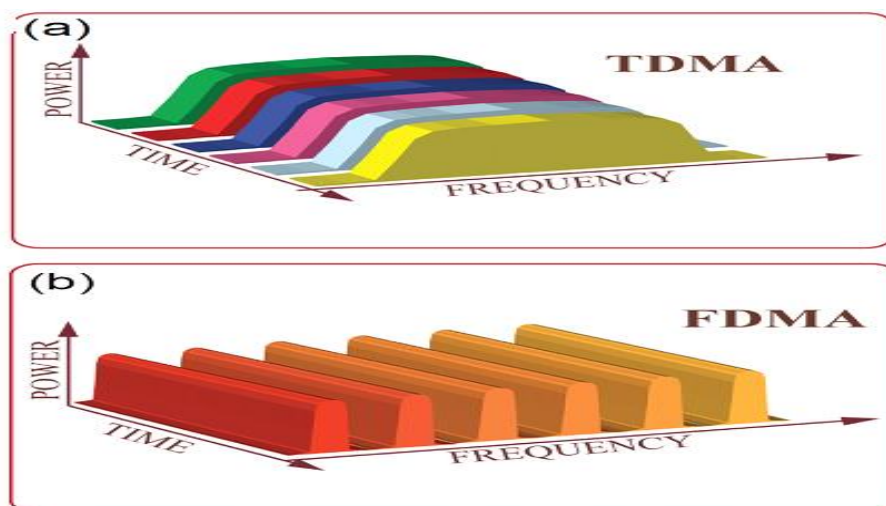


Рис. 6.3. Сравнение доступов *TDMA* и *FDMA*

Практическая реализация метода *TDMA* требует преобразования сигнала в цифровую форму. Цифровая обработка сигнала и метод *TDMA* используется в стандартах сотовой связи второго поколения – *GSM*. Подобно тому, как в *FDMA* используются защитные частотные интервалы между соседними каналами, метод *TDMA* требует наличие защитных временных промежутков между блоками данных, занимающими соседние временные интервалы. Это обусловлено конечным временем включения и выключения усилителей и возможной разницей во

времени прохождения сигнала между различными абонентами, осуществляющими связь с одной и той же базовой станцией.

**В множественном доступе с кодовым разделением (CDMA – Code Division Multiple Access)** большая группа пользователей (например, от 30 до 50), одновременно используют общую относительно широкую полосу частот – не менее 1 МГц. Как и TDMA, метод CDMA может быть реализован только в цифровой форме. Если выбирать расширяющие коды таким образом, чтобы их взаимная корреляция была равна нулю, то можно выделить сигнал нужного абонента из смеси сигналов различных пользователей (рис. 6.4).

Основная особенность метода – это работа в широкой полосе частот, значительно превышающая полосу сигнала речи. Это система с расширенным спектром. Спектр информационного сообщения искусственно расширяется посредством модуляции. Для получения ширины спектра более 1 МГц длительность дискрета модулирующей последовательности должна быть не менее 1 мкс. Достоинства этого метода – высокая помехоустойчивость, хорошая приспособленность к условиям многолучевого распространения, высокая емкость системы. Для модуляции сигнала используются функции Уолша порядков от 0 до 63.

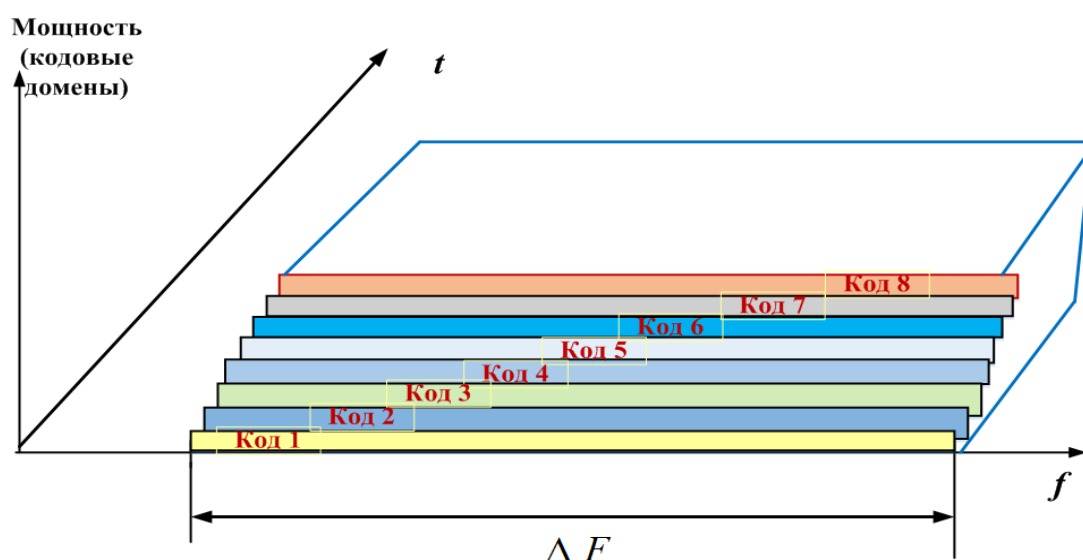


Рис. 6.4. Множественный доступ с кодовым разделением каналов

Поскольку информационные потоки передаются в обоих направлениях, то передача происходит по двунаправленному или **дуплексному каналу**. Следовательно, необходимо решить задачу двунаправленного обмена информацией.

В первом методе дуплексной передачи весь выделенный системе спектр делится между двумя противоположными направлениями. Такой подход называется **дуплексной передачей с частотным разделением (Frequency Division Duplex – FDD (рис. 6.5))**. Спектры различных направлений передачи данных не должны перекрываться, а разделяющий их диапазон частотного разнеса может использоваться другими системами. Во многих системах обе полосы имеют одинаковую ширину. Применение метода FDD выгодно при необходимости обеспе-

чения независимой передачи данных в обоих направлениях. В стандарте *GSM* используется доступ *TDMA/FDMA* с *FDD*.

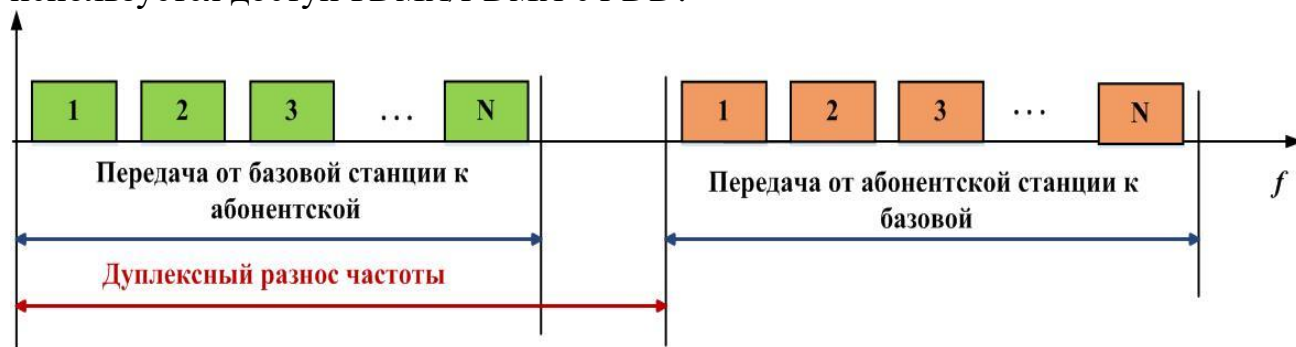


Рис. 6.5. Метод с дуплексной передачей с частотным разделением

Другой метод – это **дуплексная передача с временным разделением** (*Time Division Duplex – TDD*). Здесь весь частотный диапазон системы используется для передачи данных в обоих направлениях, причем пакеты данных в различных направлениях разнесены во времени. Как и в *TDMA* в *TDD* используется система кадров. Для переключения направления передачи данных применяется защитный временной интервал. В наиболее сложных системах время, выделяемое для передачи данных в каждом направлении, может изменяться в зависимости от вида предоставляемой услуги. В этом смысле режим *TDD* более гибок и обеспечивает лучшую производительность.

В системах *TDMA* используются два способа организации дуплексной связи: частотный *FDD* и временной *TDD* дуплексы. В системах *TDMA/FDD* дуплексная связь организуется с использованием двух рабочих частот: на одной частоте происходит передача сигнала от БС к АС, а на другой, одинаковой для всех АС рабочей частоте, ведется передача в сторону БС (рис. 6.6).

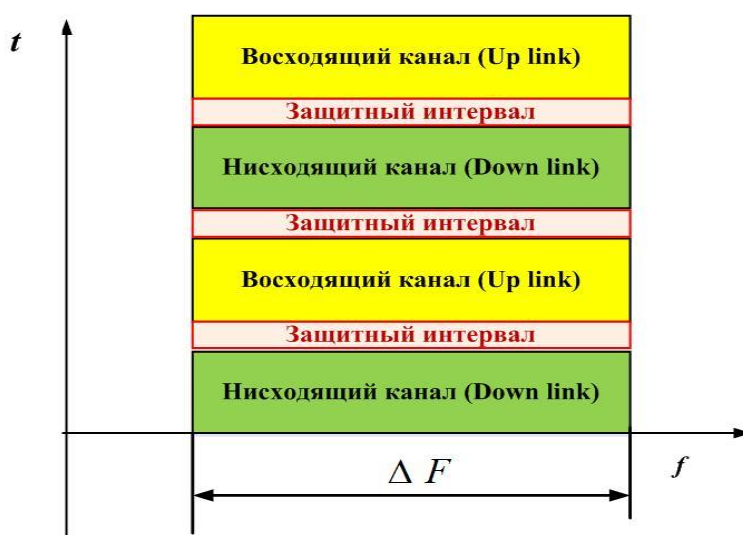


Рис. 6.6. Метод дуплексной передачи с временным разделением

В системах *TDMA/TDD* для передачи в обоих направлениях применяется только одна рабочая частота. Для организации дуплексной связи временной кадр делится на две части: первая реализуется для передачи от БС к АС, а вторая от АС к БС. С точки зрения использования радиочастотного спектра, системы *TDMA* - доступа являются более экономичными по сравнению с системами *FDMA* - доступа. Однако, они также чувствительны к узкополосным помехам и частотно-селективным замираниям, а для устойчивой работы требуется наличие прямой видимости антеннами БС и АС.

## 6.2. Поколения сотовой связи

В наземных сетях подвижной сотовой связи (СПСС) (*Public Land Mobile Network – PLMN*) произошло слияние технологий традиционных стационарных телефонных сетей, технологий сетей передачи данных и технологий систем двухсторонней радиотелефонной связи с подвижными объектами. Основой сотовой связи является повторное использование частот, которое теоретически позволяет до бесконечности повышать емкость системы. При этом вся территория разбивается на ячейки, сходство которых с пчелиными сотами (по-английски *cell* - ячейки) и послужило поводом назвать систему сотовой. В близких сотах используются различные полосы частот, а через несколько ячеек эти полосы повторяются [27].

Для работы системы необходимо поддержание определенного соканального затухания – отношения амплитуды сигналов частот, используемых в данной соте, к амплитуде сигналов этих же частот, используемых в других сотах (отношения сигнал/помеха).

**К первому поколению** СПСС относятся *аналоговые* системы, уже ушедшие в прошлое. Наиболее известными из них являлись:

- *AMPS (Advanced Mobile Phone Service)* – диапазон 800 МГц, до сих пор используется в США, Канаде, Центральной и Южной Америке, Австралии, в России с этого стандарта начинал Вымпелком (торговая марка «Би-Лайн»);

- *NMT (Nordic Mobile Telephony)* – 450, *NMT – 900* – диапазоны 450 и 900 МГц, известный как «скандинавский стандарт», применялся в России («Московская сотовая»);

- *NTT (Nippon Telegraph and Telephone)* – диапазон 800, 900 МГц, использовался в Японии.

Так как разработки этих систем велись автономно в закрытом режиме, все системы и их телефонные аппараты полностью несовместимы между собой.

В системах первого поколения для разделения каналов применялся принцип множественного доступа с делением по частоте - *FDMA*, при этом одному каналу в зависимости от стандарта выделялась полоса от 10 до 30 кГц. Основным недостатком аналоговых систем первого поколения является их низкая емкость.

**Ко второму поколению** СПСС относятся цифровые системы:

- *GSM – 900* и более поздний *GSM – 1800 (DCS-1800)*, в России этот стандарт первым начал распространять оператор МТС;



- *D-AMPS* промежуточный стандарт (другое название *IS-54 Interim Standard*), позволяющий совмещать работу аналоговой и цифровой систем в одном и том же диапазоне, с 1994 года – версия *IS-136*;
- *GSM – 1900* – американский *GSM (IS-661)*.

В этих стандартах наряду с *FDMA* применяется временное разделение *TDMA* [28]. Но одновременно в СПСС начало применяться и кодовое разделение *CDMA*. В Америке разработан стандарт, основанный на *CDMA* в диапазонах 800 (*IS-95*) и 1900 МГц, он начал применяться с 1995 года. Для России специально был разработан вариант *CDMA-450*, который внедряется на оборудовании «Московской сотовой» под торговой маркой «Комстар».

Целью разработки **систем третьего поколения** было создание глобального стандарта, который сможет поддерживать роуминг по всему миру и обеспечить передачу речи, данных и мультимедийной информации.

Стандарт *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System* - Универсальная система мобильной связи) нашел наибольшее распространение среди других стандартов этого поколения на территории Европы, в том числе и России [28]. Для его реализации на радио интерфейсе использовалась технология широкополосного многостанционного доступа с кодовым разделением *WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)* — широкополосный множественный доступ с кодовым разделением.

Европейский стандарт *UMTS* разворачивался на базе действующих сетей *GSM*. Ширина полосы, которая отводится для одного канала *WCDMA*, равна 5 МГц. Возможно увеличение полосы до 10 МГц и далее до 20 МГц. Самой первой версией европейской сети *UMTS* стала "система 3 *GPP Release 99*". В США как один из вариантов систем сотовой связи 3G использовалась система многостанционного доступа с кодовым разделением *CDMA 2000*.

Стандарты **4-го поколения (4G)** являются дальнейшим развитием мировых телекоммуникационных технологий в области мобильной связи. Стандарт *LTE (Long Term Evolution* - долгосрочная эволюция) считается логическим развитием технологий 3G, его внедрение является перспективным направлением развития сетей [29]. Разработка технологии *LTE* как стандарта официально началась в 2004 году. Первые предварительные спецификации *LTE* создавались в рамках *Release 7*, а в декабре 2008 г. утвержден *Release 8*, фиксирующий архитектурные и функциональные требования к системам *LTE*. Радиоинтерфейс *LTE* по сравнению с ранее разработанными системами 3G, обеспечивает улучшенные технические характеристики благодаря использованию технологии *OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing* — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов).

*Release 10* описывает усовершенствованную технологию *LTE Advanced*. Это по сути требования к **стандарту 4 поколения**. Проблемы перехода на *LTE* включают необходимость в новом спектре для получения преимуществ от широкого канала. Сети 4G на основе стандарта *LTE* способны работать практически по всей ширине спектра частот от 700 МГц до 2,7 ГГц. Этот стандарт нашел широкое применение в современных СПСС. Стандарт *LTE* также поддерживает технологию передачи *MIMO (Multiple Input Multiple Output)*, которая позволяет суще-

ственно увеличить пиковую скорость передачи данных и значение спектральной эффективности.

Мобильные сети **пятого поколения (5G)** представляют собой новую фазу развития мобильных сетей, которая приходит на смену четвертому поколению стандарта *LTE Advanced*. Архитектура сети 5G разрабатывалась для поддержки обмена всевозможными данными и предоставления различных услуг с использованием таких технологий как, сетевая виртуализация (*NVF - Network Function Virtualization*) и программно-конфигурируемые сети (*SDN - Software Defined Networking*) [29]. При этом оборудование базовых станций переводится на сетевую виртуализацию, физическое ядро сети заменяется на облачный дата-центр, что уменьшает время задержки получения услуг пользователем.

Сети пятого поколения имеют более широкие функциональные возможности по сравнению с сетями предыдущих поколений. Так, пиковая скорость передачи данных в этих сетях на линии вниз (*Downlink*) составляет 20 Гбит/с, а на линии вверх (*Uplink*) 10 Гбит/с, величина задержки в радиоканале составляет 1 мс, скорость движения абонентов в сети может достигать до 500 км/ч, а максимальная плотность соединяемых абонентских устройств – до 1 млн. на 1 км<sup>2</sup>.

Так, в сетях *LTE* применялась технология *OFDM*, а в сетях 5G используется усовершенствованная технология *F-OFDM (Flexibel OFDM)*, которая позволяет организовать гибкое разбиение на поднесущие с изменением длины символов и циклического префикса.

### 6.3. Архитектура сети стандарта *GSM*

Сеть *GSM* делится на 2 подсистемы. Это коммутационная подсистема - *Network Switching System (NSS)* и система базовых станций - *Base Station System (BSS)* (рис. 6.7).

*NSS* включает в себя следующие функциональные устройства:

- *MSC (Mobile Switching Center* – Центр коммутации мобильной связи) - это коммутационная станция в сети *GSM*, работающая в режиме коммутации каналов, обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединения для абонентских станций. Он обеспечивает функции по управлению вызовами;
- *GMSC (Gateway Mobile Switching Center* – Шлюзовой центр коммутации мобильной связи), соединяющий сеть *GSM* с другими телефонными сетями. *GMSC* является точкой входа в сеть *GSM* из других сетей (*ISDN, PSTN - Public Switched telephone network*); Вызовы из других сетей сначала поступают на *GMSC*, основное назначение которого запросить в *HLR* данные о местонахождении абонента, а затем вызов направляется из *GMSC* в *MSC*, обслуживающий вызываемого абонента.



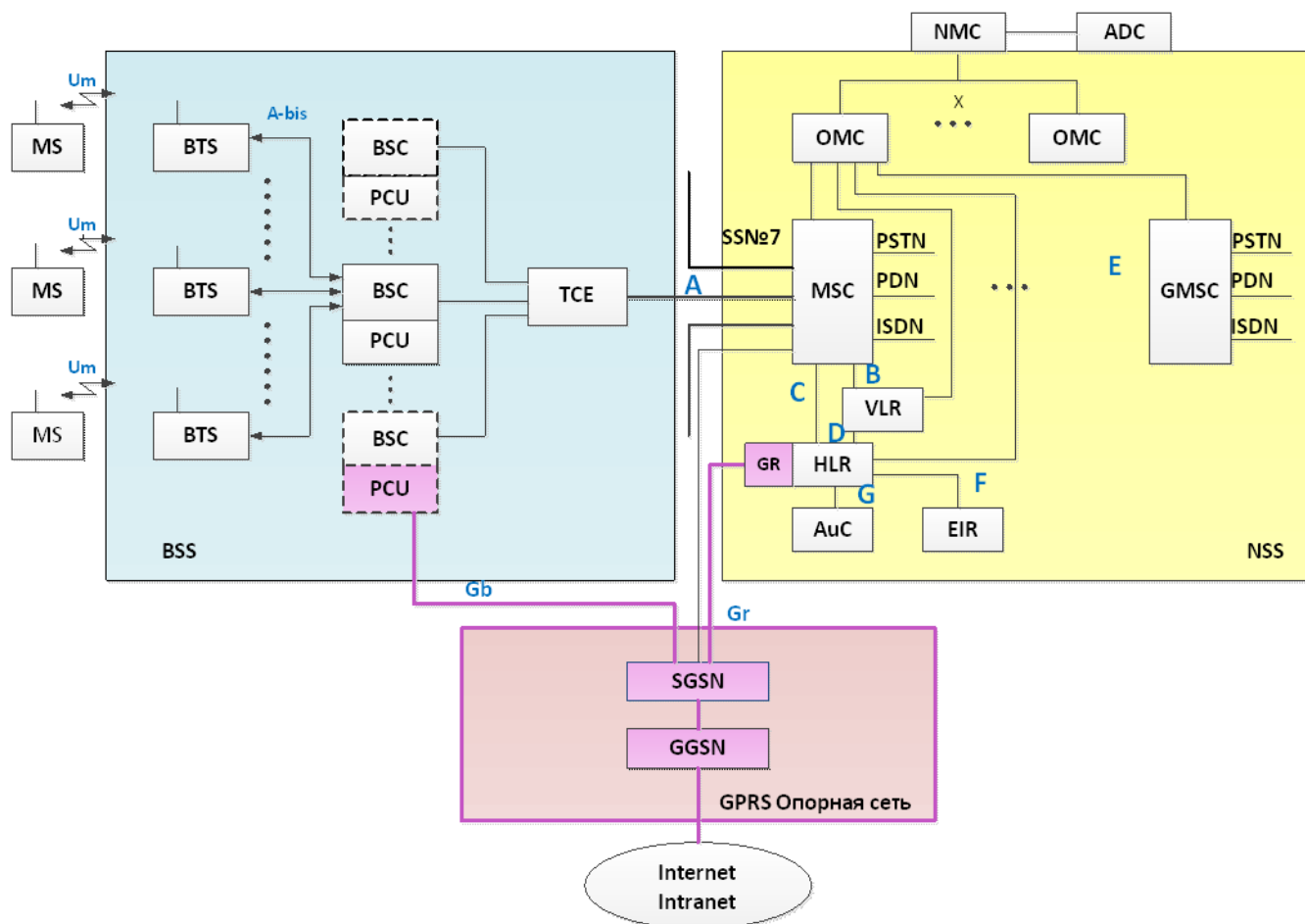


Рис. 6.7. Архитектура сети стандарта GSM

- *HLR (Home Location Register - домашний регистр местоположения)* - база данных, содержащая сведения о домашних абонентах, которые постоянно прописаны в сети, а также списки основных и дополнительных услуг абонента. Каждый абонент закреплен за определенным HLR, который хранит информацию о текущем местонахождении абонентов. Эту информацию он получает из VLR.
- *VLR (Visit Location Register - визитный регистр местоположения)* - база данных, содержащая информацию об абонентах, обслуживаемых на данном участке сети. Регистр VLR содержит также информацию о визитных (роуминговых) абонентах в зоне обслуживания коммутатора MSC, копию списка подключённых услуг связи для визитных абонентов, а также информацию о местоположении абонентского терминала.
- *AUC (Authentication Center - Центр аутентификации)* - центр аутентификации - база данных, содержащая информацию для аутентификации абонента, часто совмещается с HLR. Каждый подвижный абонент имеет стандартный модуль подлинности абонента (SIM), который содержит: международный идентификационный номер (IMSI), свой индивидуальный ключ аутентификации (Ki), алгоритм аутентификации (A3).
- *EIR (Equipment Identification Register – Регистр идентификации оборудования)* содержит международный идентификатор мобильного терминала IMEI (International Mobile Equipment Identity) - число (обычно 15-разрядное в де-

сятичном представлении), уникальное для каждого использующего его аппарата. *IMEI* присваивается телефону во время изготовления на заводе. Он служит для идентификации устройства в сети и хранится в прошивке аппарата. Чтобы узнать свой *IMEI* на клавиатуре надо ввести комбинацию *\*#06#*.

- *OMC (Operations and Maintenance Center* - Центр технического обслуживания) выполняет все задачи по эксплуатационно-техническому обслуживанию для сети, например, из него проводится наблюдение за сетевым трафиком, за аварийными сигналами от всех сетевых элементов. Из *OMC* доступ осуществляется как к системе *NSS*, так и к системе *BSS*.

- *NMC (Network Management Center* — Центр управления сетью) дает возможность рационального иерархического управления сетью *GSM*. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой центрами *OMC*, которые отвечают за управление региональными сетями. *NMC* следит за состоянием маршрутов сигнализации и соединений между узлами, чтобы не допускать перегрузки в сети.

**Система *BSS*** отвечает за все функции, относящиеся к радиоинтерфейсу. К ней относятся следующие функциональные блоки:

- *BTS (Base Telephone Station* - Базовая приемо-передающая станция) может обслуживать несколько сот. Она управляет радио интерфейсом с мобильной станцией (*Mobile Station* – *MS*), включает в себя радиооборудование (приемники, передатчики, антенны). Ее задачей является передача и прием информации на радиоинтерфейсе. *BTS* является ведомым оборудованием и работает под управлением контроллера *BSC*.

- *BSC (Base Station Controller* – Контроллер базовой станции) управляет несколькими *BTS*. Это коммутатор большой емкости, который обеспечивает хэндовер *MS*, управление радио ресурсами, осуществляет кодирование и декодирование сообщений. Контроллер подключается к *MSC*.

- *TCE (Transcoder Equipment* — Транскодер) выполняет транскодирование и адаптацию скорости. Поскольку в подсистеме *NSS* речевая информация передается при помощи цифровых потоков со скоростью 64 кбит/с, а на радиоинтерфейсе эта информация передается при помощи низкоскоростных цифровых потоков, то в транскодере происходит речевое кодирование и декодирование цифровых потоков согласно стандарту *GSM*. Передача цифровых сообщений по направлению к контроллеру базовых станций (*BSC*) ведется с добавлением к речевому потоку со скоростью передачи 13 кбит/с дополнительных битов (*stuffing*). При этом скорость передачи сигнального трафика составляет 3 кбит/с. Общая скорость передачи данных по радиоинтерфейсу равна 16 кбит/с.

#### 6.4. Частотный план стандарта *GSM-900* и *GSM-1800*

В стандарте *GSM* - 900 имеется 124 частотных канала. Каждый канал занимает полосу шириной 200 кГц. На одной несущей частоте может быть организовано 8 физических каналов (рис. 6.8). В системе *GSM* передача и прием разделены. Для передачи от мобильной станции абонента (*MS*) до базовой станции (*BTS*) выделяется полоса частот 890-915 МГц - это обратный канал или (линия

вверх - *Uplink*), а от *BTS* до *MS* выделяется полоса частот 935-960 МГц - это прямой канал или (линия вниз - *Downlink*). Т.е. здесь используется режим *FDD*, который требует отдельных частотных полос, как для передачи, так и для приема.

Если обозначить  $F_1(n)$  – номер частотного канала в полосе 890-915 МГц, а  $F_2(n)$  - номер частотного канала в полосе 935-960 МГц, то средняя частота приема базовой станции (от *MS* до *BTS*), выраженная в МГц определяется по формуле:

$$F_1(n)=890+0,2n \text{ МГц.}$$

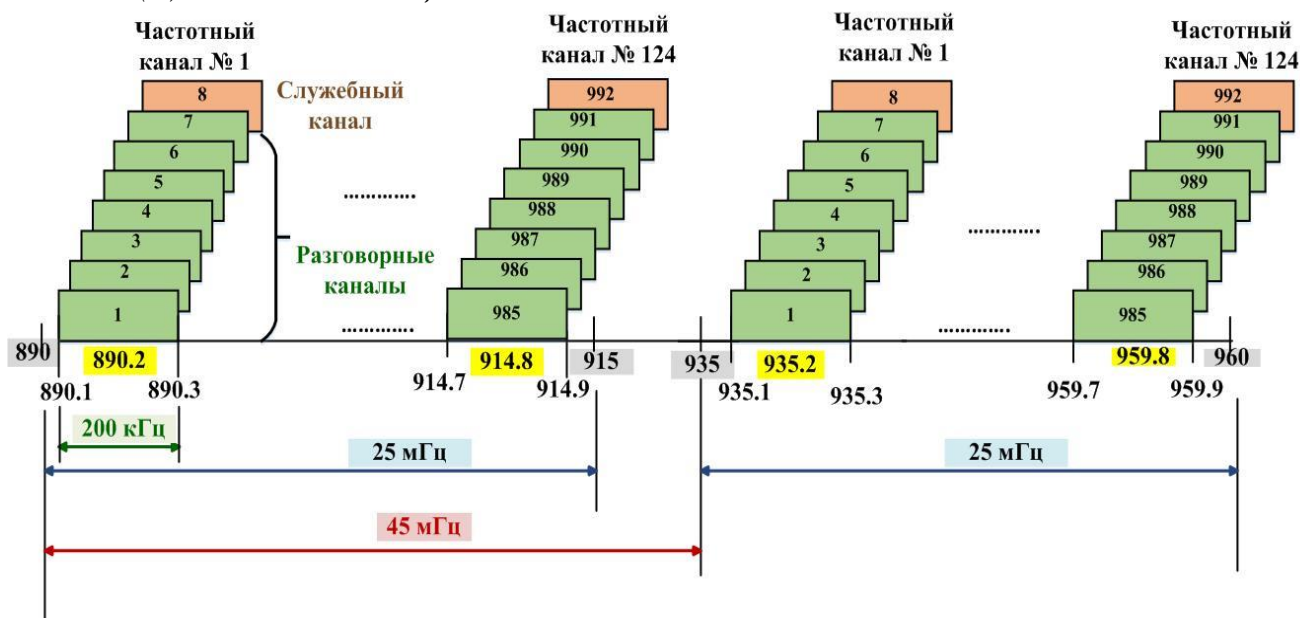


Рис. 6.8. Частотный план стандарта *GSM-900*

Средняя полоса передачи (от *BTS* до *MS*), выраженная в МГц, равна:

$$F_2(n)=935+0,2n \text{ МГц или } F_2(n)=F_1(n)+45 \text{ МГц.}$$

Номера временных каналов на данной частоте определяются следующим образом:  $T_n = 8(n-1)+1 \div 8n$ .

В стандарте *GSM-1800* (*DCS -1800*) выделяется полоса частот для передачи разговора и данных 75 МГц. Сдвиг между частотами приема и передачи и передачи составит 95 МГц. (рис. 6.9). В обратном канале от *MS* до *BTS* используется полоса частот 1710-1785 МГц, а в прямом канале от *BTS* до *MS* используются частоты 1805-1880 МГц.

Для стандарта *GSM -1800* для канала с номером «n» применяются следующие формулы для определения средней частоты приема базовой станции (от *MS* до *BTS*), выраженная в МГц:

$$F_1(n)=1710+0,2n \text{ МГц;}$$

Средняя полоса передачи (от *BTS* до *MS*), выраженная в МГц равна:

$$F_2(n)=1805+0,2n \text{ МГц или } F_2(n)=F_1(n)+95 \text{ МГц.}$$

Номера временных каналов на данной частоте определяются следующим образом:  $T_n = 8(n-1)+1 \div 8n$ .

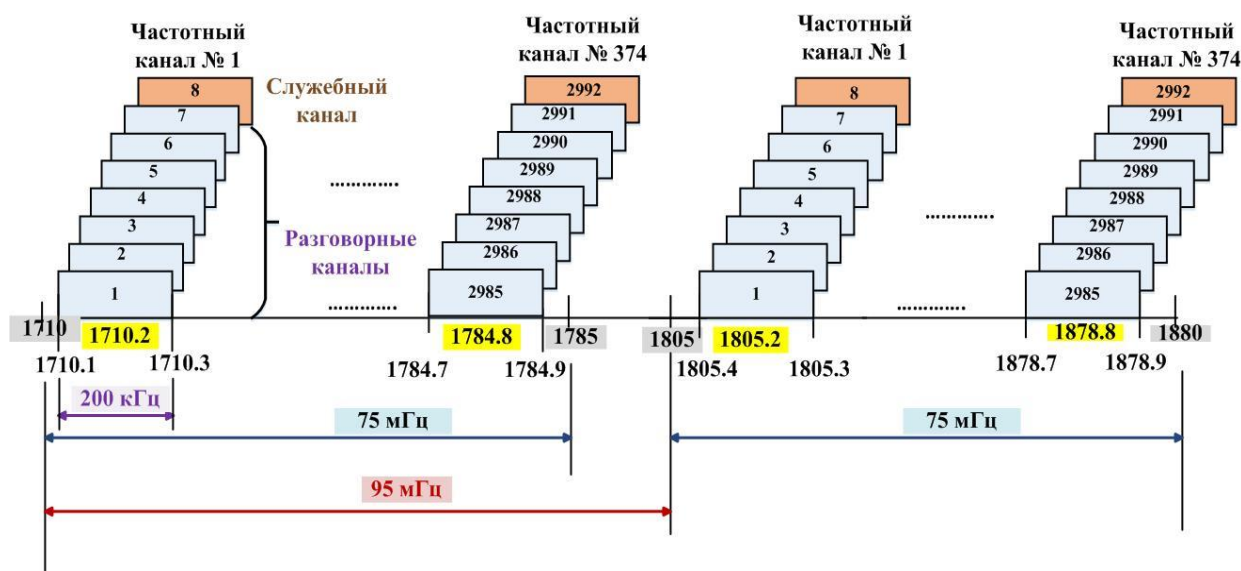


Рис. 6.9. Частотный план стандарта GSM-1800

## 6.4. Технология передачи данных в сети стандарта GSM

Службы в сети GSM можно разделить на службы передачи речевой информации и службы передачи данных.

Службы передачи данных включают:

- CSD - *Circuit Switching Data* - Передача данных в режиме коммутации каналов (КК);
- SMS - *Short Message Service* - служба коротких сообщений;
- GPRS - *General Packet Radio Service* - Передача данных в режиме коммутации пакетов (КП).

Первоначально сети GSM имели относительно низкие скорости передачи данных - 9,6 и 14,4 кбит/с, при этом MS выполняла функции модема. Для повышения скорости передачи данных была предложена **технология высокоскоростной передачи данных (HSCSD - High Speed Circuit Switched Data)**, которая использует существующую сеть с коммутацией каналов, а для увеличения скорости передачи данных абоненту выделяется нескольких временных каналов на одной несущей частоте. При использовании четырех временных каналов пользователь может достичь скорости передачи данных до 40-50 кбит/с.

**Служба коротких сообщений SMS (Short Message Center)** позволяет передавать небольшие объемы данных (короткие сообщения) по ядру сети с помощью ОКС №7. Отличительной особенностью службы SMS является гарантированная доставка сообщения адресату.

Для организации службы SMS на СПСС создается центр обработки сообщений (*Short Message Service Center - SMSC*), который и выполняет все функции, связанные с получением, промежуточным хранением и контролем за доставкой сообщений абонентам (рис. 6.10).

Для организации маршрута доставки сообщения центр SMS взаимодействует с базой данных *HLR*. В случае невозможности доставить сообщение в

данный момент времени центр *SMS* периодически возобновляет попытки передачи.

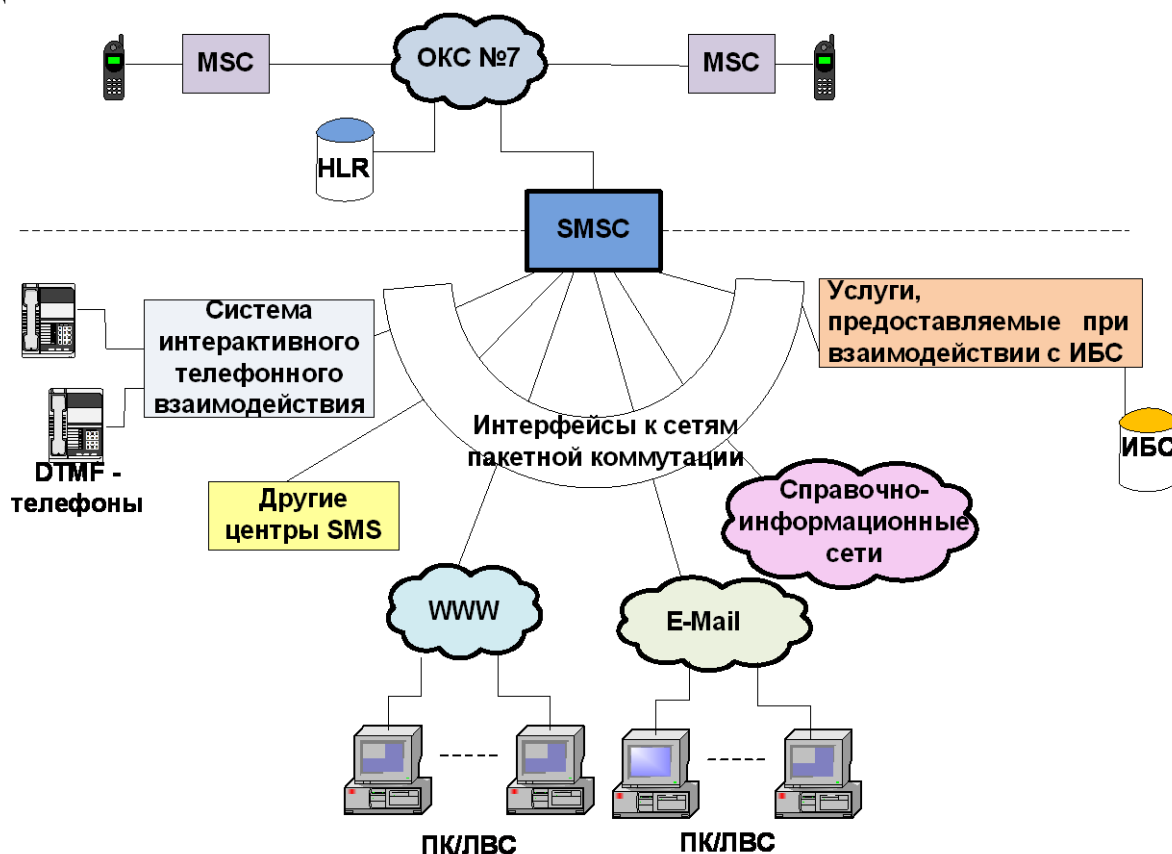


Рис. 6.10. Структура взаимодействия центра *SMS* с коммутаторами мобильной связи и внешними сетями

**Технология GPRS** была разработана в 2001 году. Сеть *GPRS* представляет собой сеть с КП, наложенную на существующую сеть *GSM* (рис. 6.11). Такая технология предполагает более эффективное использование ресурсов сети *GSM*. При передаче информации через *GPRS* абоненту не выделяется отдельная линия, а пакеты данных передаются одновременно по нескольким свободным временным каналам, расположенных на одной частоте и в паузах передачи речи. При этом система работает с переменной скоростью, которая определяется условиями распространения сигнала и наличием свободных каналов в пределах заданной соты. Соблюдается приоритет голосовых каналов, т.е. система автоматически выделяет под пакетную передачу все каналы, не занятые передачей голоса. Таким образом, реальная скорость приема и передачи данных зависит от загрузки голосовых каналов в пределах каждой конкретной соты. Причем допустимо ассиметричное назначение ресурсов.

Основное отличие технологии *GPRS* от высокоскоростной передачи *HSCSD* - новый механизм тарификации, допускающий возможность совместного использования несколькими абонентами одного канала (интервала времени) и одновременного предоставления нескольких видов услуг, например, прием сообщения от третьего абонента во время сеанса связи со вторым. Фактически абонент платит не за время занятия канала, а только за объем передаваемой ин-

формации.

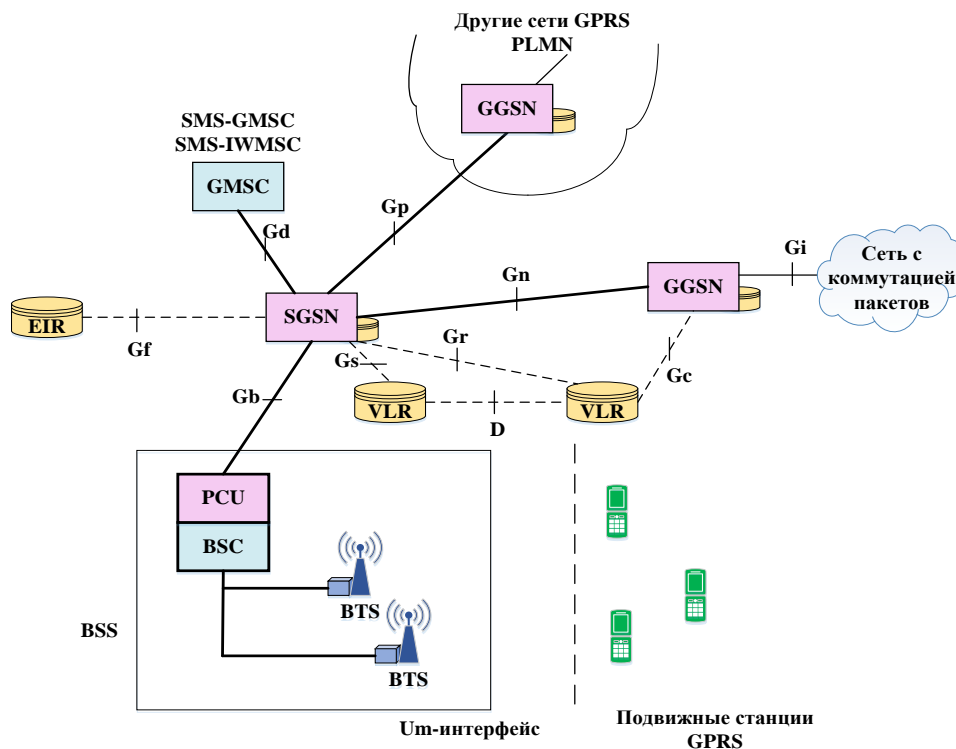


Рис. 6.11. Обобщенная структура сети *GPRS*

Передаваемые данные отделяются от остального трафика в *BSC*, в котором устанавливается модернизированное программное обеспечение и добавлен блок управления пакетами *PCU*. Этот блок решает какие ресурсы динамически назначаются для использования в режиме с КК, а какие в режиме с КП. В функции *PCU* входят управление доступом к каналам, их связывание, а также сегментация и восстановление пакетов.

Обслуживающий узел *GPRS* (*Serving GPRS Support Node - SGSN*) выполняет функции аутентификации авторизации, контроля доступа, маршрутизации пакетов и управления мобильностью. Он является аналогом *MSC/VLR* в домене с КК и выполняет эквивалентные функции в домене с КП, который находится на том же иерархическом уровне, что и в домене с КК. Также *SGSN* по протоколу *MAP* (сигнализация ОКС№7) взаимодействует через интерфейс *Gr* с регистром *HLR*. Функции регистра *HLR* расширены, так как в нем хранятся новые данные об абоненте, связанные с услугой *GPRS*.

Шлюзовой узел *GPRS* (*Gateway GPRS Support Node - GGSN*) - обеспечивает взаимодействие с *IP*- сетью. Он расположен на том же иерархическом уровне, что и шлюзовый центр коммутации *GMSC*. Узел отвечает за маршрутизацию входящих пакетов данных, при поступлении которых он передает запрос в *HLR*, чтобы определить какой узел *SGSN* в данное время обслуживает абонента.

Для полного набора функций *GPRS* необходимо дополнительное оборудование, такое как брандмауэр для обеспечения безопасности, сервер доменных имен *DNS* для маршрутизации запросов в сети *GPRS*, сервер динамической конфигурации хоста для присваивания сервером *IP* - адресов.



Для оптимального использования ресурса частотного канала в *GPRS* реализованы четыре схемы кодирования (*CS – Coding Schemes*), основанные на свёрточных (корректирующих ошибки) кодах от *CS1* до *CS4* со скоростями 9,05; 13,4; 15,6 и 21,4 кбит/с соответственно. При увеличении номера схемы кодирования возрастает обеспечиваемая ею скорость, но вместе с тем кодирование становится менее помехоустойчивым. Та или иная схема кодирования выбирается в зависимости от вида передаваемой информации, характеристик радиоканала и уровня помех.

Скорость передачи данных в сетях *GPRS* теоретически может достигать 171,2 кбит/сек. На самом деле, скорость зависит от количества каналов, которые предоставляются службе *GPRS* и от выбранной схемы кодирования сигналов. Обычно для передачи пакетного трафика на одной частоте объединяются ресурсы до четырех временных каналов. Тогда при использовании схемы кодирования *CS-4* данные могут передаваться со скоростью до 85,6 кбит/с. Во время пакетной передачи ресурсы линии связи «вверх» и «вниз» могут определяться независимо друг от друга, т.е. в системе допускается реализация симметричного и асимметричного режимов пакетной передачи.

Дальнейшим развитием службы *GPRS* явилась **система радиодоступа *EDGE***, которая позволяет значительно увеличить скорость передачи до 384 кбит/с на несущую. Это стало возможно благодаря изменению способа модуляции передаваемых данных на радиоинтерфейсе. В службе *GPRS* применялась Гауссовская модуляция с минимальным частотным сдвигом (*GMSK*), а в *EDGE* 8-позиционная фазовая модуляция *8-PSK* (*8 - state Phase Shift Keying*).

Для технологии *EDGE* разработано девять схем кодирования, основные характеристики которых приведены в таблице 6.1.

Смена режима кодирования происходит каждый раз, когда декодируемый предыдущий блок принят с низкой достоверностью.

Как показано в табл. 6.1, все множество схем кодирования разбито на группы (серии А, В, С), и при ухудшении качества передачи сигнала переход от одной схемы кодирования к другой, более помехоустойчивой, происходит только в пределах одной группы.

Таблица 6.1. Основные характеристики схем кодирования для технологии *EDGE*

Схема кодирования	Модуляция	Максимальная скорость, кбит/с	Множитель скорости кодирования	Серия
<i>MSC-9</i>	<i>8PSK</i>	59,2	1,0	А
<i>MCS-8</i>	<i>8PSK</i>	54,4	0,92	А
<i>MCS-7</i>	<i>8PSK</i>	44,8	0,76	В
<i>MCS-6</i>	<i>8PSK</i>	29,6	0,49	А
<i>MSC-5</i>	<i>8PSK</i>	22,4	0,37	В
<i>MCS-4</i>	<i>GMSK</i>	17,6	1,0	С

<i>MSC-3</i>	<i>GMSK</i>	14,8	0,80	A
<i>MSC-2</i>	<i>GMSK</i>	11,2	0,66	B
<i>MSC-1</i>	<i>GMSK</i>	8,8	0,53	C

## 6.5. Выполнение ортогонального кодирования с использованием функций Уолша

**Ортогональность** – это перпендикулярность. Если прямые располагаются друг по отношению к другу под прямыми углами, их называют ортогональными. Функциями Уолша называется семейство функций, образующих ортогональную систему, принимающих значения только +1 и –1 на всей области определения.

В системах многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA) применяются ортогональные функции Уолша. Одним из необходимых, но не достаточных свойств такого кода является его сбалансированность, т.е. одинаковое число нулей и единиц. В таблице 6.2 приведены ортогональные функции Уолша длины  $2^3=8$ . При кодировании обычно символ 0 заменяется на +1, а 1 на -1. На рис. 6.12 приведены диаграммы, соответствующие этим последовательностям.

Ортогональные функции Уолша могут быть сгенерированы с использованием итерационного процесса построения матрицы Адамара, начиная с  $H_1=[0]$ .

Матрица Адамара сформирована:

$$H_{2n} = \begin{pmatrix} H_n & H_n \\ H_n & \bar{H}_n \end{pmatrix}$$

Полученная матрица с точностью до порядка следования совпадает с ортогональными функциями

$$H_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad H_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} 8,1 \\ 8,8 \\ 8,4 \\ 8,2 \\ 8,5 \\ 8,7 \\ 8,3 \\ 8,6 \end{matrix}$$



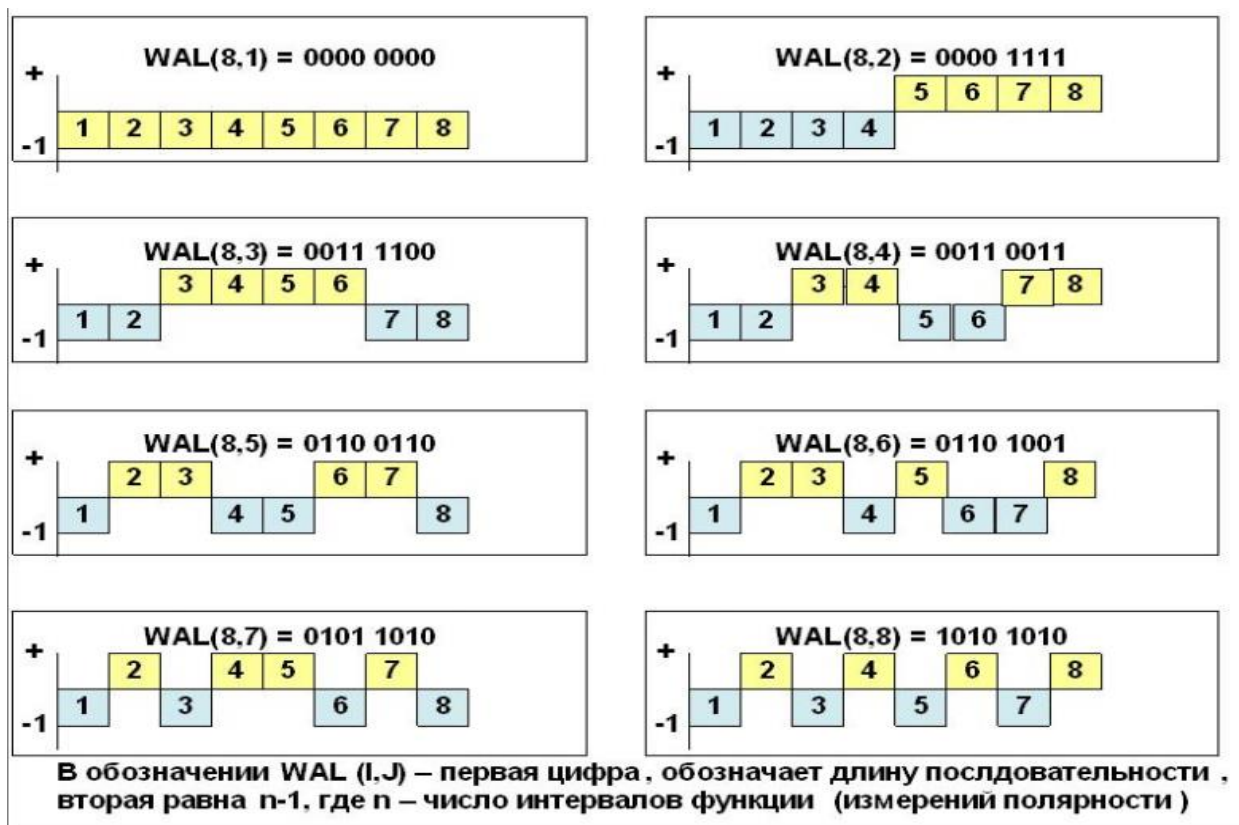


Рис. 6.12. Диаграммы ортогональных функций Уолша

Рассмотрим пример вычисления ортогональности полученных функций. Разберем взаимную корреляцию (без сдвига) функций 8,8 (01010101) и 8,6 (01101001).

$$[(-1) \times (-1)] + [(1 \times 1)] + [(-1) \times 1] + [1 \times (-1)] + [(-1) \times 1] + [1 \times (-1)] + [(-1) \times (-1)] + [1 \times 1] = 0$$

Согласно полученному результату эти две функции ортогональны. Однако ортогональные функции Уолша имеют недостатки. Система должна быть синхронизирована. При сдвиге синхронизации функции корреляции увеличиваются. Для сдвинутых по времени и несинхронизированных сигналов взаимная корреляция может быть равна нулю. Они могут интерферировать друг с другом. Вот почему кодирование с помощью функций Уолша может применяться только при синхронном CDMA.

Рассмотрим систему трех каналов, которая использует три ортогональных расширяющих последовательности, применяющие ортогональные функции Уолша:

1-й канал: (-1, -1, -1, -1),

2-й канал: (+1, -1, +1, -1),

3-й канал: (-1, -1, +1, +1).

Предположим, что нам надо передать следующую информацию:

1-й канал (110), 2-й канал (010), 3-й канал (001).	Или, заменяя 0 на -1, а 1 на +1,	1-й канал (+1+1-1), 2-й канал (-1+1-1), 3-й канал (-1-1+1).
	$\longrightarrow$	

Комбинация расширяющей последовательности с информацией канала получается умножением всех разрядов последовательности на значение информационного бита. На рис. 6.13, 6.14, 6.15 показаны полученные последовательности для каналов 1, 2, 3.

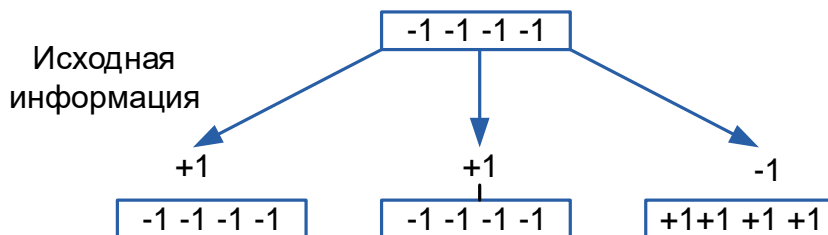


Рис. 6.13. Преобразование исходной информации для 1 канала с помощью ортогональных последовательностей Уолша

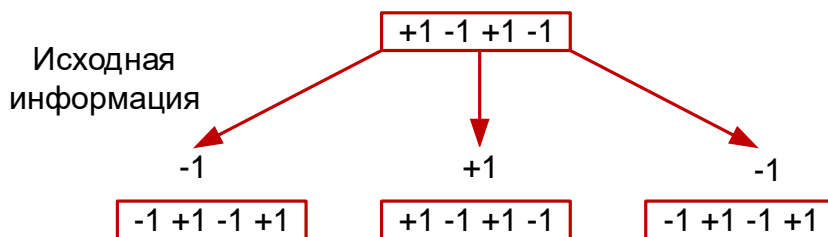


Рис. 6.14. Преобразование исходной информации для 2 канала с помощью ортогональных последовательностей Уолша

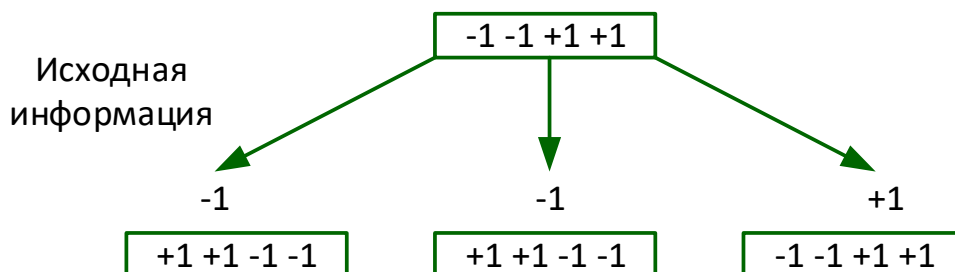


Рис. 6.15. Преобразование исходной информации для 3 канала с помощью ортогональных последовательностей Уолша

Далее результаты расширения спектров каждого из каналов объединяются (суммируются), как это показано на рис. 6.16.

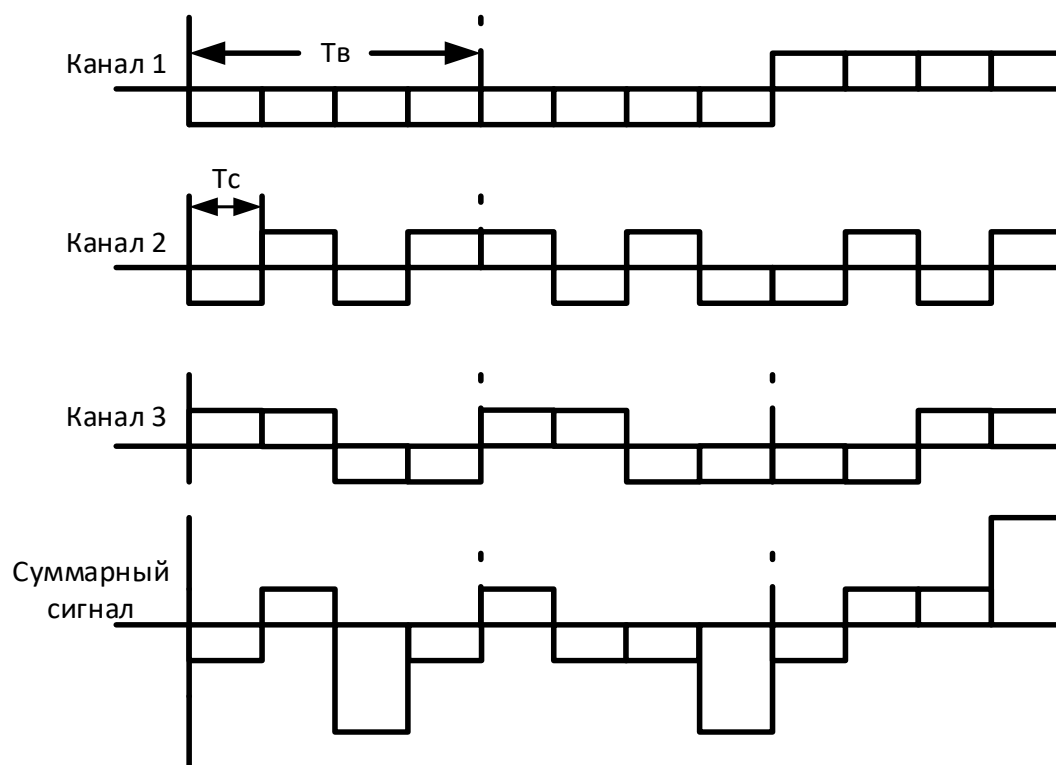


Рис. 6.16. Пример ортогонального кодирования для  
каналообразования

Таблица 6.2. Пример ортогонального кодирования для  
каналообразования

Каналы	Исходная информация	Последовательности расширенного спектра		
Канал 1	110	-1,-1,-1,-1	-1,-1,-1,-1	+1,+1,+1,+1
Канал 2	010	-1,+1,-1,+1	+1,-1,+1,-1	-1,+1,-1,+1
Канал 3	001	+1,+1,-1,-1	+1,+1,-1,-1	-1,-1,+1,+1
Суммарный канал		<b>-1,+1,-3,-1</b>	<b>+1,-1,-1,-3</b>	<b>-1,+1,+1,+3</b>

В таблице 6.3 показан пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для канала 1.

Таблица 6.3. Пример восстановления первоначального сигнала с и использованием ортогональных функций

Суммарный сигнал	<b>-1,+1,-3,-1</b>	<b>+1,-1,-1,-3</b>	<b>-1,+1,+1,+3</b>
Последовательность канала 1	-1,-1,-1,-1	-1,-1,-1,-1	-1,-1,-1,-1
Выход коррелятора	+1,-1,+3,+1	-1,+1,+1,+3	+1,-1,-1,-3
Выход интегратора	+4	+4	-4
Двоичный сигнал	1	1	0

На рис. 6.17 показан восстановленный первоначальный сигнал с использованием ортогональных функций для канала 1.

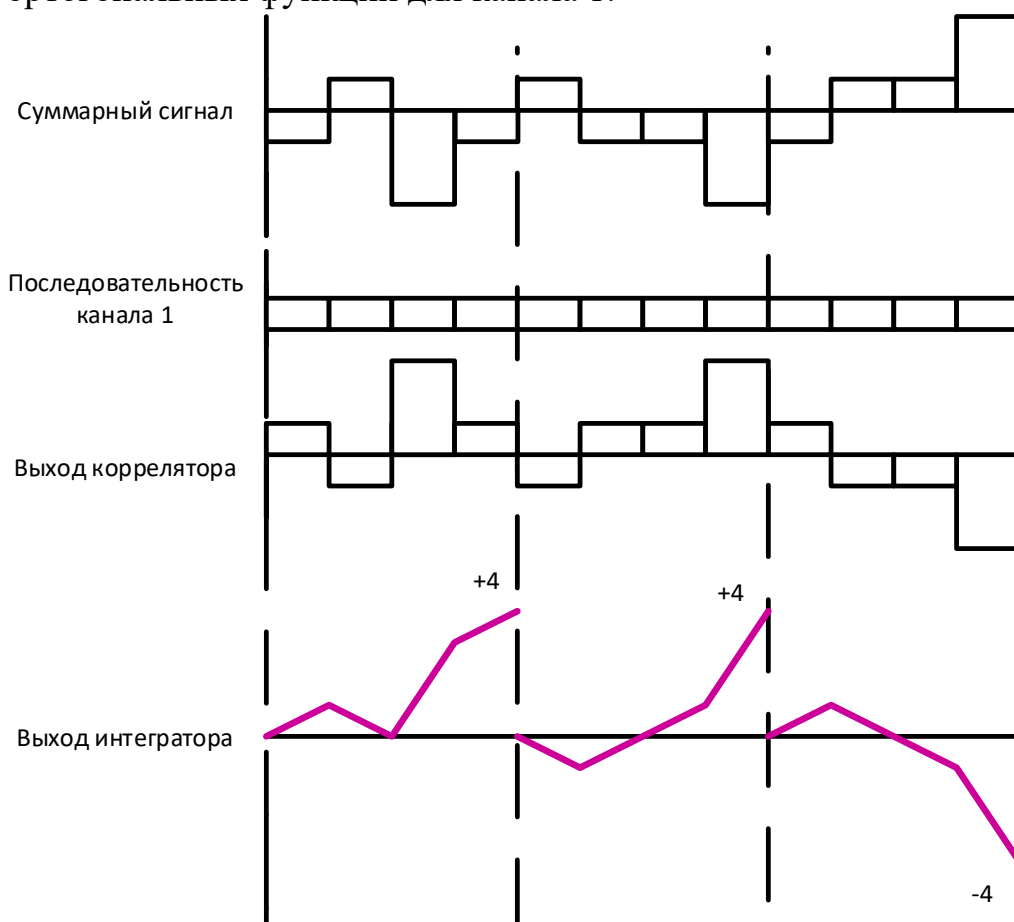


Рис. 6.17. Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для 1 канала

Для восстановления исходного сигнала каждый разряд суммарного сигнала умножается на соответствующий разряд расширяющей последовательности канала 1, после чего полученные результаты суммируются в пределах одного периода последовательности. Каждый интегральный сигнал дает максимальное значение, равное либо +4, либо -4. В зависимости от этого исходный символ будет соответственно +1 или -1.

Аналогично могут быть получены значения исходной последовательности в канале 1 и 3.

В таблице 6.4 показан пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для канала 2.

Таблица 6.4. Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций

Суммарный сигнал	-1,+1,-3,-1	+1,-1,-1,-3	-1,+1,+1,+3
Последовательность	+1,-1,+1,-1	+1,-1,+1,-1	+1,-1,+1,-1

канала 2			
Выход коррелятора	-1,-1,-3,+1	+1,+1,-1,+3	-1,-1,+1,-3
Выход интегратора	-4	+4	-4
Двоичный сигнал	0	1	0

На рис. 7 показан восстановленный первоначальный сигнал с использованием ортогональных функций для канала 2.

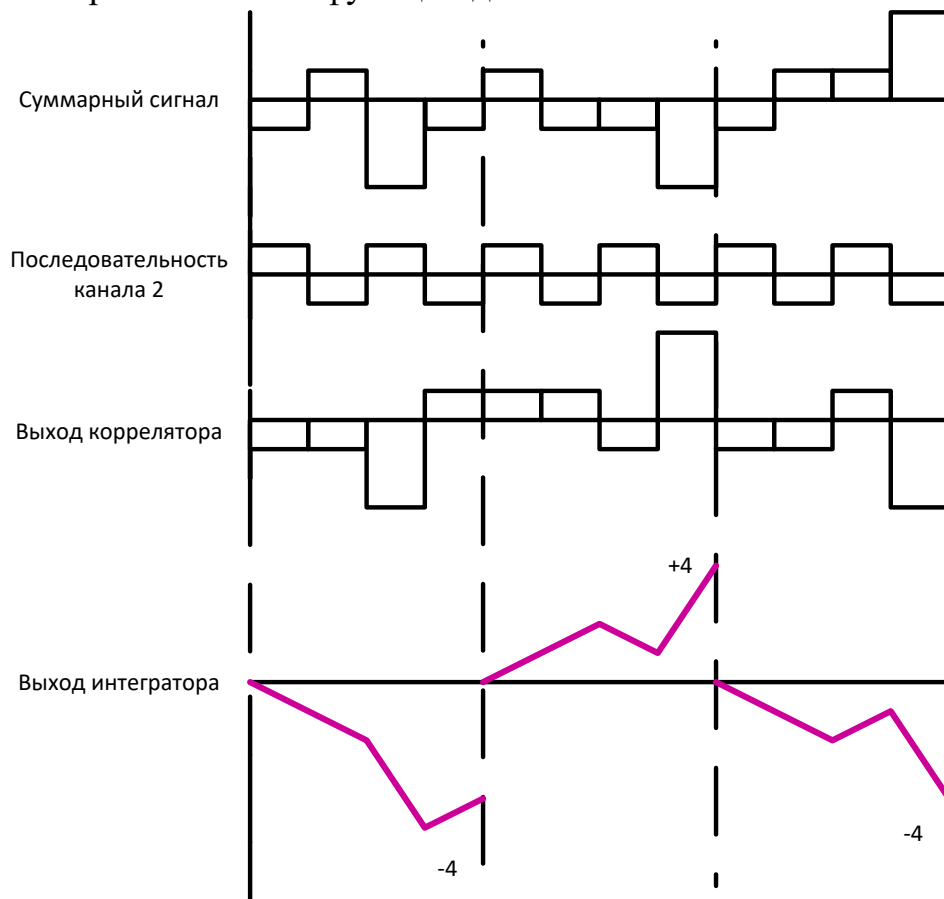


Рис. 6.18. Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для 2 канала

В таблице 6. 5 показан пример восстановления первоначального сигнала с и использованием ортогональных функций для канала 3.

Таблица 6.5. Пример восстановления первоначального сигнала с и использованием ортогональных функций

Суммарный сигнал	-1,+1,-3,-1	+1,-1,-1,-3	-1,+1,+1,+3
Последовательность канала 3	-1,-1,+1,+1	-1,-1,+1,+1	-1,-1,+1,+1
Выход коррелятора	+1,-1,-3,-1	-1,+1,-1,-3	+1,-1,+1,+3
Выход интегратора	-4	-4	+4
Двоичный сигнал	0	0	1

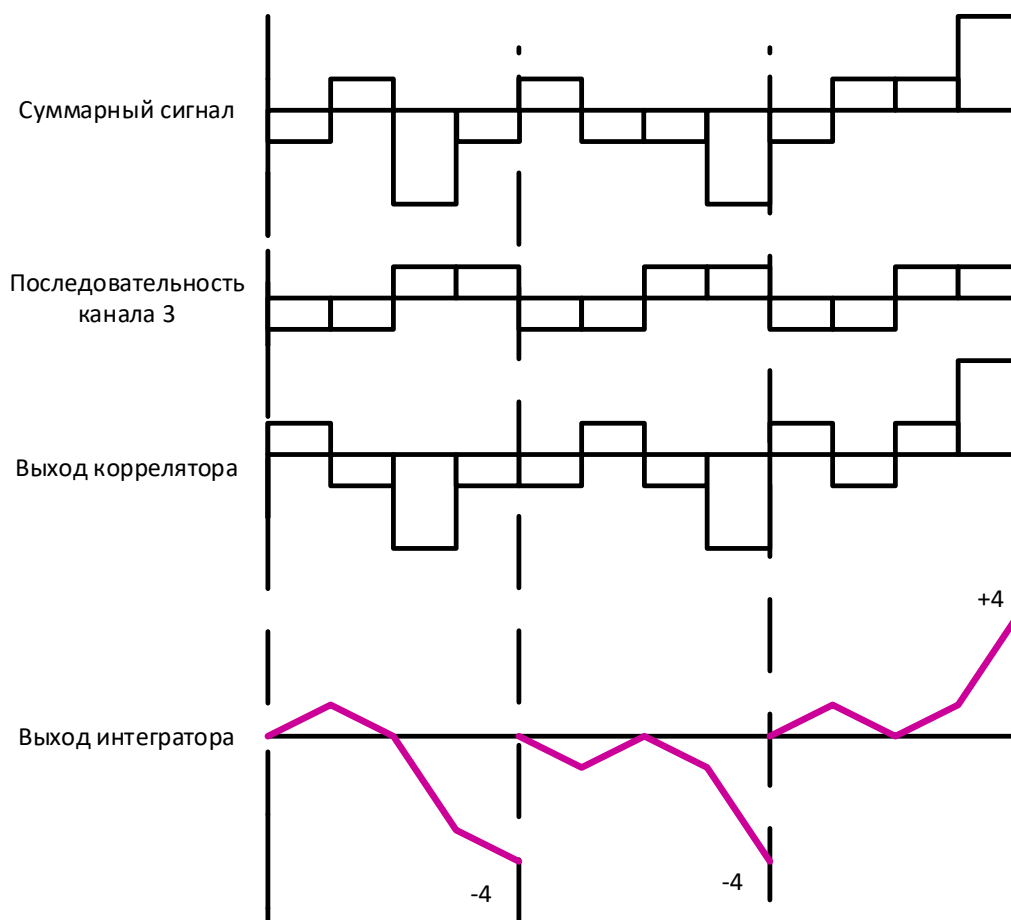


Рис. 6.19. Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для 3 канала

Если попытаться восстановить сигнал с использованием ортогональной последовательности, не входящей в суммарный сигнал, то получается ноль для каждого периода интеграции (табл. 6.6)

Таблица 6.6 Пример восстановления первоначального сигнала с использованием ортогональных функций для последовательности не входящей в суммарный сигнал

Суммарный сигнал	<b>-1,+1,-3,-1</b>	<b>+1,-1,-1,-3</b>	<b>-1,+1,+1,+3</b>
Последовательность	-1,+1,+1,-1	-1,+1,+1,-1	-1,+1,+1,-1
Выход коррелятора	+1,+1,-3,+1	-1,-1,-1,+3	+1,+1,+1,-3
Выход интегратора	0	0	0

### Задание №6

1. Выполнить ортогональное кодирование в соответствии с вариантом, используя данные из таблицы 1.

Таблица 1. Исходные данные

№ вар	Номер канала	Передаваемая информация	Ортогональных расширяющих последовательностей
1	Канал 1	110	-1-1+1+1
	Канал 2	101	-1-1-1-1
	Канал 3	101	+1-1+1-1
2	Канал 1	111	-1+1+1-1
	Канал 2	000	+1-1+1-1
	Канал 3	100	-1-1+1+1
3	Канал 1	000	-1-1+1+1
	Канал 2	011	-1+1+1-1
	Канал 3	110	+1-1+1-1
4	Канал 1	110	-1-1+1+1
	Канал 2	101	-1-1-1-1
	Канал 3	100	+1-1+1-1
5	Канал 1	101	+1-1+1-1
	Канал 2	010	-1-1+1+1
	Канал 3	110	-1-1-1-1
6	Канал 1	111	-1-1+1+1
	Канал 2	011	+1-1+1-1
	Канал 3	110	-1-1-1-1
7	Канал 1	110	-1-1+1+1
	Канал 2	101	+1-1+1-1
	Канал 3	101	-1-1-1-1
8	Канал 1	111	+1-1+1-1
	Канал 2	000	-1-1+1+1
	Канал 3	100	-1-1-1-1
9	Канал 1	000	-1-1+1+1
	Канал 2	011	-1-1-1-1
	Канал 3	110	+1-1+1-1
10	Канал 1	110	-1-1+1+1
	Канал 2	101	-1+1+1-1
	Канал 3	100	+1-1+1-1
11	Канал 1	101	1-1+1+1
	Канал 2	010	-1-1-1-1
	Канал 3	110	+1-1+1-1
12	Канал 1	111	-1-1+1+1
	Канал 2	011	-1-1-1-1
	Канал 3	110	+1-1+1-1
13	Канал 1	1101	-1-1+1+1
	Канал 2	1011	+1-1+1-1
	Канал 3	1011	-1-1-1-1
14	Канал 1	1111	+1-1+1-1

	Канал 2	0001	-1-1+1+1
	Канал 3	1001	-1-1-1-1
15	Канал 1	0001	-1-1+1+1
	Канал 2	0111	-1-1-1-1
	Канал 3	1101	+1-1+1-1
16	Канал 1	1101	-1-1+1+1
	Канал 2	1011	-1+1+1-1
	Канал 3	1001	+1-1+1-1
17	Канал 1	1011	1-1+1+1
	Канал 2	0101	-1-1-1-1
	Канал 3	1101	+1-1+1-1
18	Канал 1	1111	-1-1+1+1
	Канал 2	0111	-1-1-1-1
	Канал 3	1101	+1-1+1-1
19	Канал 1	1101	-1-1+1+1
	Канал 2	1011	-1-1-1-1
	Канал 3	1011	+1-1+1-1
20	Канал 1	1111	-1+1+1-1
	Канал 2	0001	+1-1+1-1
	Канал 3	1001	-1-1+1+1
21	Канал 1	0001	-1-1+1+1
	Канал 2	0111	-1+1+1-1
	Канал 3	1101	+1-1+1-1
22	Канал 1	1101	-1-1+1+1
	Канал 2	1011	-1-1-1-1
	Канал 3	1001	+1-1+1-1
23	Канал 1	1011	+1-1+1-1
	Канал 2	0101	-1-1+1+1
	Канал 3	1101	-1-1-1-1
24	Канал 1	1111	-1-1+1+1
	Канал 2	0111	+1-1+1-1
	Канал 3	1101	-1-1-1-1
25	Канал 1	1100	-1-1+1+1
	Канал 2	1010	+1-1+1-1
	Канал 3	1010	-1-1-1-1
26	Канал 1	1110	+1-1+1-1
	Канал 2	0000	-1-1+1+1
	Канал 3	1000	-1-1-1-1
27	Канал 1	110	-1-1+1+1
	Канал 2	101	-1+1+1-1
	Канал 3	100	+1-1+1-1
28	Канал 1	001	-1-1+1+1
	Канал 2	011	-1-1-1-1
	Канал 3	110	+1-1+1-1



29	Канал 1	110	-1-1+1+1
	Канал 2	101	-1-1-1-1
	Канал 3	100	+1-1+1-1
30	Канал 1	111	-1+1+1-1
	Канал 2	010	+1-1+1-1
	Канал 3	101	-1-1+1+1

2. Представить диаграммы информации для каждого кодированного канала и суммарную диаграмму в канале.

3. Представить таблицу ортогонального кодирования.

4. По результатам диаграммы показать диаграмму восстановления для каждого канала.

5. Показать невозможность восстановления функции с помощью последовательности, не входящей в объединенный сигнал.

### Задание №7

В соответствии с частотным планом стандарта *GSM-900* и *GSM-1800* определите средние полосы частот на передачу и на прием для частотных каналов, которые заданы в таблице 7.1. Также для заданных частотных каналов определите номера временных каналов:

Таблица 7.1. Исходные данные для выполнения задания

№№ пп	Канал для стандарта <i>GSM-900</i>	Канал для стандарта <i>GSM-1800</i>
1	104	220
2	55	300
3	16	345
4	83	301
5	79	309
6	112	315
7	100	360
8	108	275
9	77	189
10	88	188
11	99	199
12	66	266
13	65	165

14	43	133
15	30	145
16	69	244
17	26	222
18	28	333
19	30	111
20	44	298
21	89	119
22	58	127
23	23	256
24	27	332
25	34	134
26	39	110
27	91	191
28	81	281
29	71	271
30	64	264

### Контрольные вопросы

1. Какие устройства сети *GSM* участвуют в процедуре аутентификации абонента?
2. Укажите скорость передачи речевых сообщений в радиointерфейсе без сигнального трафика?
3. Какие устройства сети стандарта *GSM* принимают участие во внутрисотовом хэндовере?
4. Какой регистр в сети *GSM* выполняет процедуру идентификации абонента?
5. Какое устройство в сети стандарта *GSM* обеспечивает возможность управления трафиком при перегрузках на сети?
6. Чему равно общее число каналов связи в сети стандарта *GSM* 1800?
7. Чему равно общее число каналов связи в сети стандарта *GSM* 900?
8. Определите номер частотного канала в сети стандарта *GSM*, если он занимает полосу 902,9 - 903,1 на передачу и 947,9 - 948,1 на прием.
9. Служба *GPRS* передает информацию объемом 300 кБайт на одной частоте по четырем временным каналам. Определите время передачи информации в секундах, если используется схема кодирования *CS2*.
10. Данные передаются по технологии *EDGE*. Блок данных был закодирован с использованием схемы *MCS-8* и был искажен. По какой схеме будет происходить повторная посылка блока данных?
11. Какие технологии передачи данных в сети стандарте *GSM* Вы знаете?

12. Какие функции выполняет устройство *SGSN* в сети *GSM*?
13. Какие функции выполняет устройство *GGSN* в сети *GSM*?
14. Чему равна ширина канала стандарта *GSM*?
15. Какая организация разработала стандарт *UMTS*?
16. Какой организацией разработана система *CDMA2000*?
17. В каком релизе 3 *GPP* впервые была описана первая фаза развития сетей *LTE*?
- 18.2. В каком релизе 3 *GPP* был стандарт *LTE Advanced*.
19. Поясните функцию центра коммутации мобильной связи.
20. Какая информация об абоненте хранится в *VLR*?
21. Какая информация об абоненте хранится в *HLR*?
22. Какой метод радиодоступа используется в сетях *LTE*?
23. Опишите, как устанавливается соединение в сети стандарта *GSM* при осуществлении вызова от мобильного абонента до абонента ТФОП.

### Основная литература

1. Пшеничников А.П., Росляков А.В. Будущие сети. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2022. – 256 с.
2. Пшеничников А.П. Теория телетрафика. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 212 с.
3. Расчёт объёма оборудования мультисервисных сетей связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 90 с.
4. Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети. НТП – 112 – 2000. М.: Минсвязи России. 2000.
5. Рекомендации МСЭ-Т серии E – <http://www.itu.org>.
6. Российская система и план нумерации. Утверждена приказом Минцифры России от 31.01.2022. № 75. [www.minsvyaz.ru](http://www.minsvyaz.ru), документы.
7. Гольдштейн, Б.С. Протокол SIP. Справочник. – СПб.: БНВ-Санкт-Петербург, 2005. – 456 с.
8. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи. Том 1. 4-е изд. – СПб.: БХБ – Санкт – Петербург, 2005.
9. Система сигнализации. РД 45. 223 – 2001. – М.: Минсвязи России, 2001.
10. Росляков А.В. ОКС № 7: архитектура, протоколы, применение. - М.: Эко-Трендз, 2008. – 320 с.
11. Рекомендации МСЭ-Т по ОКС №7 серии Q.700 – Q.787; Q.1051 – Q.1400 <http://www.itu.org>
12. Рыжков А.В. Частотно-временное обеспечение в сетях электросвязи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 270 с.
13. Давыдкин П.Н., Колтунов М.Н., Рыжков А.В. Тактовая сетевая синхронизация / Под ред. М.Н. Колтунова. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 205 с.

14. Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 272 с.
15. Приказ Минкомсвязи России от 21.03.2016 №113. «Об утверждении Требований к построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации». [www.minsvyaz.ru](http://www.minsvyaz.ru).
16. Приказ Мининформсвязи России от 07.12.2006 №161 «Об утверждении Правил применения оборудования тактовой сетевой синхронизации». [www.minsvyaz.ru](http://www.minsvyaz.ru).
17. Аудит системы тактовой сетевой синхронизации. Организационное обеспечение. Методика проведения. Руководящий документ отрасли. РД 45.230-2001. [www.minsvyaz.ru](http://www.minsvyaz.ru).
18. Присоединение сетей операторов связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации. Рекомендация отрасли. Р 45.09-2001. [www.minsvyaz.ru](http://www.minsvyaz.ru).
19. Требования к построению телефонной сети связи общего пользования. Утверждены приказом Минцифры России от 13.08.2021. № 832.
20. Учебное пособие к практическим занятиям по дисциплине «Инфокоммуникационные сети». Составители: к.т.н., проф. Пшеничников А.П., Ст. преподаватель Патенченкова Е.К. М.: МТУСИ, 2019 г. - 92 с.

### Дополнительная литература

21. Сети следующего поколения NGN /под ред. А.В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2009. -424 с. (*Концепция ССОП на период 2000 – 2010 гг.*)
22. Росляков А.В., Ваняшин С.В. Будущие сети (Future Networks). – Самара: ПГУТИ, 2015. -274 с. (*Концепция ССОП на период 2011 – 2020 гг.*)
23. Шваб К. Четвёртая промышленная революция: пер. с англ. –М.: Издательство «Э», 2017. – 208 с.
24. Шваб К., Дэвис Н. Технологии Четвёртой промышленной революции. Перевод с англ. – М.: Эксмо, 2019. 320 с.
25. Ли П. Архитектура Интернета вещей / пер. с англ. М.А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. -454 с.
26. Росляков А.В. СЕТЬ 3030: архитектура, технологии, услуги. – М.: Колосс-с, 2022. – 324 с. (*Концепция ССОП 2021 – 2030 гг.*)
27. Лохвицкий М.С., Сорокин А.С., Шорин О.А. Мобильная связь: стандарты, структуры, алгоритмы, планирование. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 264 с.:
28. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю. Технологии в системах радиосвязи на пути к 5 G. - Горячая линия Телеком, 2018. - 280 с.
29. Антонова В.М., Богомолова Н.Е., Сычев А.М. Информационно-телекоммуникационные системы. Учебное пособие, М. Издательство МГТУ им. Баумана, 2024. – 91 стр.

30. Нетес В.А. Ethernet операторского класса. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 128 с.

### **Список сокращений**

АИМ -амплитудно-импульсная модуляция  
АЛ – абонентская линия  
АС – абонентская станция  
АТС – автоматическая телефонная станция  
АТСЭ – цифровая (электронная) АТС  
АШ – абонентский шлюз  
БК – балансный контур  
БП - буферная память  
БС – базовая станция  
БСС -блок сетевой синхронизации  
ВЗГ - вторичный задающий генератор  
ВП - высокий приоритет  
ГСЭ -генератор сетевого элемента  
ГТС – городская телефонная сеть  
ДВИ- девиация временного интервала  
ДИ – дискретная информация  
ЗВН – зоны всемирной нумерации  
ЗСЛ - заказно-соединительная линия  
ЗУС – зонный узел связи  
ИКМ – импульсно-кодовая модуляция  
К – концентратор  
КИ- канальный интервал  
КП - технологией коммутации пакетов  
КК – технология коммутации каналов  
МГК – междугородный канал  
МГУС – междугородный узел связи  
МЗГ - местный задающий генератор  
МнУС – международный узел связи  
МККТТ - Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (в настоящее время МСЭ)  
МНЦК – международный центр коммутации  
МОВИ -максимальная ошибка временного интервала  
МСЭ-Т – Международный союз электросвязи, сектор телекоммуникаций  
МЦК – междугородный центр коммутации  
НП – низкий приоритет  
ОАТУ- оконечное абонентское телефонное устройство  
ОКС – общеканальная сигнализация  
ОПТС – опорно-транзитная телефонная станция  
ОС – оконечная станция  
ОУ – оконечное устройство  
ОЦК– основной цифровой канал  
ПС – подстанция  
ПСС - преобразователь сигналов синхронизации  
ПЦИ -плезиохронная цифровая иерархия  
ПЭГ -первичный эталонный генератор  
ПЭИ -первичный эталонный источник  
РАТС – районная АТС

РП – рычажный переключатель ТА  
 РСС -распределитель сигналов синхронизации  
 СЛ – соединительная линия  
 СЛМ – соединительная линия междугородной связи  
 СПСС - сеть подвижной сотовой связи  
 СПУ – синхросигнал первого уровня  
 ССОП -сеть связи общего пользования  
 СТС - сельская телефонная сеть  
 СУВ – сигналы управления и взаимодействия  
 СЦИ - синхронная цифровая иерархия  
 СЦС – сигнал сверхцикловой синхронизации  
 ТА – телефонный аппарат  
 ТК – телефонный канал  
 ТПП – телефонный кабель с полиэтиленовой изоляцией и в полиэтиленовой оболочке  
 ТС- транзитная станция  
 ТСС - тактовая сетевая синхронизация  
 ТфОП – телефонная сеть общего пользования  
 ТЧ – канал тональной частоты  
 УАК – узел автоматической коммутации  
 УВС – узел входящих сообщений  
 УВСМ - междугородный узел входящих сообщений  
 УЗСЛ – узел заказно-соединительных линий  
 УИС – узел исходящих сообщений  
 УИВС – узел исходящих и входящих сообщений  
 УК – узел коммутации  
 УПАТС - учрежденческо-производственная АТС  
 УР – узловой район  
 УС – узловая станция  
 УСС - узел специальных служб  
 ЦС – сигнал цикловой синхронизации  
 ЦСИС – цифровая сеть с интеграцией служб (*ISDN*)  
 ЧНН – час наибольшей нагрузки  
 ЭМ – электромагнит искателя  
 ЭМВОС - Эталонной моделью взаимодействия открытых систем  
 Эрл - эрланг – единица измерения интенсивности нагрузки  
 AUC (Authentication Center) - центр аутентификации  
 BSC (*Base Station Controller*) – контроллер базовой станции  
 BSS (*Base Station System*)- система базовых станций  
 BTS (*Base Telephone Station*) - базовая приемо-передающая станция  
 CDMA (*Code Division Multiple Access*) - множественный доступ с кодовым разделением  
 CSD (*Circuit Switching Data*)- передача данных в режиме коммутации каналов  
 DUS (*Do not Use for Sync*) – не использовать для синхронизации  
 DTMF (*Dual-Tone Multiple-Frequency*) - *многочастотный* способ передачи сигналов набора номера  
 EDSS1 (*European Digital Subscriber Signaling №1*) - Европейская цифровая система сигнализации  
 FDD (*Frequency Division Duplex*)–дуплексная передача с частотным разделением  
 EDGE (*Enhanced Data for Global Evolution*) —технология высокоскоростной передачи больших объемов информации  
 FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) - множественный доступ с частотным разделением

ем каналов

FFO (Fractional Frequency Offset) - относительное отклонение частоты

GE - Gigabit Ethernet

GGSN (Gateway GPRS Support Node) - шлюзовой узел GPRS

GMSC (Gateway Mobile Switching Center) — шлюзовой центр коммутации мобильной связи

GPRS (General Packet Radio Service) - передача данных в режиме коммутации пакетов

GSM- Global System for Mobile Communications

HLR (Home Location Register) -домашний регистр местоположения

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) - технология высокоскоростной передачи данных

EIR (Equipment Identification Register) — регистр идентификации оборудования

IP/MPLS (multiprotocol label switching)- многопротокольная коммутация по меткам

IMEI (International Mobile Equipment Identity) - международный идентификатор мобильного терминала

IMS (IP Multimedia Subsystem) — мультимедийная подсистема на базе протокола IP

LAPD (Link Access Procedure on the D channel)- процедуры установления соединения по D каналу

LTE (Long Term Evolution) - долгосрочная эволюция

MGC (Media Gateway Controller) - контроллер медиа-шлюзов

MIMO (Multiple Input Multiple Output)- метод пространственного кодирования сигнала

MNC (Mobile Network Code) - код сети подвижной связи MCC (Mobile Country Code)- код страны подвижной связи

MSIN (Mobile Subscription Identification Number) - номер абонентской станции

MSC (Mobile Switching Center) — центр коммутации мобильной связи

NVF (Network Function Virtualization) - сетевая виртуализация

NGN (Next Generation Networks) — концепция сетей следующего поколения

NMC (Network Management Center) — центр управления сетью

NMT (Nordic Mobile Telephony) — скандинавский стандарт

NSS (Network Switching System) -коммутационная подсистема

OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов

OMC (Operations and Maintenance Center) - центр технического обслуживания

PLMN (Public Land Mobile Network)— наземная мобильная сеть общего пользования

PSTN (Public Switched telephone network) — телефонная сеть связи общего пользования

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) -технология синхронной цифровой иерархии

SDN (Software Defined Networking) - программно-конфигурируемые сети

SGSN (Serving GPRS Support Node) - обслуживающий узел GPRS

SIP (Session Initiation Protocol)— протокол установления сеанса

SMS (Short Message Service) - служба коротких сообщений

SMSC (Short Message Service Center) - центр обработки сообщений

TDD (Time Division Duplex) — дуплексная передача с временным разделением

TDMA – Time Division Multiple Access)- множественный доступ с временным разделением каналов

TCE (Transcoder Equipment) — транскодер

TGW ( Trunking gateway)— транкинговый шлюз

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) - универсальная система мобильной связи

VLR (Visit Location Register) - визитный регистр местоположения