

# Военно-специальная ПОДГОТОВКА



ЦИКЛ

№ 1

Воронин

Сергей

Владимирович.

**Тема № 1 «Радиорелейные  
станции с частотным  
разделением каналов».**

**Занятие № 1. «Общие  
понятия о радиорелейной  
связи».**

# Учебные вопросы

1. Цели и задачи военно-специальной подготовки.
2. Принципы радиорелейной связи. Термины и определения.
3. История и перспективы развития отечественной военной техники радиорелейной связи.
4. Общая характеристика УКВ диапазона. Особенности радиорелейной связи.
5. Структурная схема РРЛ , классификация РРЛ.

# *Вопрос № 1*

---

**ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ  
ВСП.**

# • **ЗНАТЬ:**

- **ВСН** имеет целью изучение устройства техники связи и привитие студентам служебных обязанностей должностных лиц практических навыков по развертыванию, эксплуатации и обслуживанию аппаратуры связи;
- - устройство аппаратуры связи;
- - порядок развертывания и свертывания, подготовку, аппаратной к работе и выполненных нормативов по работе на средствах связи.
- - порядок вхождения в связь, регулировку канала и эксплуатацию средств связи в различных режимах;
- - нормативы и (учебные задачи) порядок их выполнения на аппаратуре связи

**ЗАПОМНИ!**

# УМЕТЬ:

- самостоятельно обеспечить выполнение боевой задачи в условиях автономной работы аппаратной в системе УС;
- руководить развертыванием и свертыванием аппаратной;
- эксплуатировать средства связи, производить сопряжение и регулировку каналов связи;
- производить техническое обслуживание и выполнять ремонт средств связи;



ЗАПОМ  
НИ

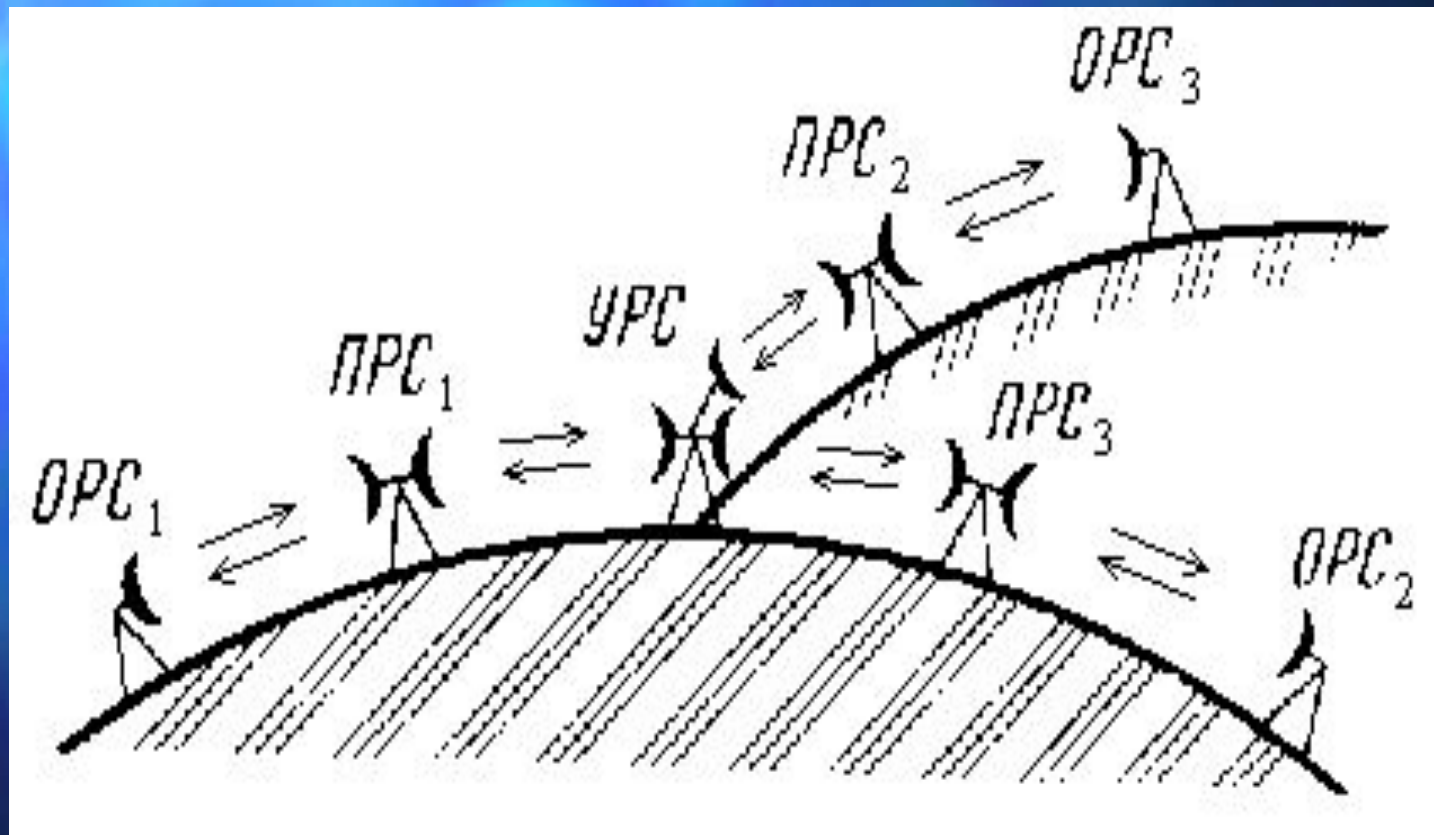
## **УМЕТЬ:**

- **выполнять нормативы и учебные задачи по работе на средствах связи;**
- **правильно вести техническую документацию на аппаратной;**
- **методически правильно обучать личный состав работе на средствах связи.**



**ЗАПОМ  
НИ**

## 2. Принципы радиорелейной СВЯЗИ





- **Радиорелейная связь** – Наземная радиосвязь, основанная на ретрансляции радиосигналов на дециметровых и более коротких радиоволнах.
- **Дециметровые волны** – Радиоволны длиной 10-100 см.

### ***3. ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ.***

**РР и ТР связь имеют сравнительно небольшую историю развития, первые РРЛ появились в середине 30-х годов, ТРЛ - в середине 50-х годов, Рождение этих родов связи было обусловлено прогрессом теории и техники СВЧ, антенных систем, методов формирования, обработки и демодуляции сигналов, а также интересами обеспечения высокого уровня управления в ВС.**

# Этапы развития РР и ТР средств СВЯЗИ

до 1988 года	1989-1 990 года	1996- 2005 года	после 2005 г
Р-412АСФ	"Бриг"-2 (Р-423-2)	Разлад-2	"ССора"
Р-409	"Азид-2" (Р-4 19) "Дебютант- Г (Р-425)	"Дебютант-2"	"Канатчик-2" "Окалина"
Р-405	"Азид-1" (Р-415) "Дебютант-В" (Р-425-В)	"Дебютант-1"	"Канатчик- 1" "Канатчик-8"
Р-414	Р-414	"Баянист-А"Р-418	"Кальхограф"

**Значительный вклад в развитие военных РР и ТР средствах связи внесли ученые и инженеры С. В. Бородин, В. В. Марков, А. И. Соболев и др. Среди современных ученых, занимающихся разработкой средств РР и ТР связи» следует отметить А. П. Родимова, И.Р. Сивакова, Д.Л, Бураченко и др.**

## **Общая тенденция развития систем связи: это переход к цифровым РРЛ. Использование цифровых методов передачи улучшает ряд показателей РРС и РРЛ:**

- весогабаритные характеристики;
- повышенные надежности аппаратуры;
- исключаются ряд эксплуатационных регулировок, свойственных аналоговым РРЛ;
- потребление энергии;
- улучшается проблема ЭМС.
- применение наиболее эффективных методов разнесения и сложения сигналов для борьбы с быстрыми замираниями (для ТР связи);
- обеспечение помехозащиты в условиях разнесенного приема (для ТР связи);
- реализация требуемых пропускных способностей;
- повышение аппаратурной надежности;
- мобильности;
- автономности;
- помехозащищенности;
- увеличение длин РР и ТР линий связи;
- повышение качества каналов связи;
- повышение безопасности связи;
- повышение живучести от ВТО и ОМП;
- унификация аппаратуры.

# Достоинство радиорелейной связи:

- возможность организации многоканальной связи и передачи любых сигналов, как узкополосных, так и широкополосных;

- возможность создания 2-х проводных и 4-х проводных выходов каналов связи;

- узконаправленность излучения антенных устройств;

- возможность обеспечения двухсторонней связи (дуплексной) связи между потребителями каналов (абонентами);

- практическое отсутствие атмосферных и промышленных помех;

- сокращение времени организации связи в сравнении с проводной связью.

# Недостатки радиорелейной связи:

- необходимость

обеспечения  
прямой геометрической  
видимости между  
антеннами соседних

- использование  
промежуточных станций  
для организации связи на  
большие расстояния, что  
является причиной  
снижения надежности и  
качества связи;

- сложность в строительстве  
радиорелейных линий в  
труднодоступной местности.

- необходимость  
использования  
высокоподнятых антенн;

- громоздкость аппаратуры;

# 4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УКВ ДИАПАЗОНА. ПОНЯТИЕ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ.

## Свойства УКВ диапазона

- большая частотная емкость;

- практическое отсутствие атмосферных и промышленных помех;

- малая дифракционная (огибающая) способность;

- возможность создания антенных устройств узконаправленного излучения и приема электромагнитных колебаний.



Большая частотная емкость дает возможность для передачи информации использовать разнообразные методы модуляции, и в частности такие, которые обеспечивают как высокую помехоустойчивость, так и постоянство остаточного затухания ( $\alpha_r$ ) каналов связи. Последнее означает, что разность уровней сигналов на входе и выходе каналов конечных станций-величина постоянная, независящая от условий связи:

$$P_{с\text{ вх}} - P_{с\text{ вых}} = \text{const}$$

Уровнем принято называть значение величины сигналов, выраженное в относительных (безразмерных) единицах - децибелах:

$$P = 10 \lg(P_1 / P_0) = 20 \lg(U_1 / U_0)$$

где  $P_1$  и  $U_1$  - мощность и напряжение на выходе канала связи

$P_0$  и  $U_0$  - мощность и напряжение на входе канала связи.

Необходимость обеспечения постоянства остаточного затухания каналов диктуется рядом факторов.

**Во-первых,** при этом может быть улучшено качество связи, поскольку в канале связи случайными величинами являются величина шума и передаваемых сигналов, а параметры каналов остаются неизменными.

**Во-вторых,** появляется возможность включения на выходе каналов дифференциальных систем, что обеспечивает двухпроводные выходы каналов связи. В этом случае сопряжение каналов радиорелейных линий с каналами линий дальней связи осуществляется не только при четырехпроводных, но и при двухпроводных выходах.

**В-третьих,** некоторые виды оконечной аппаратуры работают эффективно при неизменном коэффициенте передачи сигналов.

Постоянство остаточного затухания каналов радиорелейных линий достигается при использовании таких методов модуляции, при которых уровень полезного сигнала на выходе приемника станции не зависит от величины высокочастотного сигнала на его входе, если последний больше определенной пороговой, для данного приемника величины. Это обеспечивается при передаче информации с помощью частотной и различных методов импульсной модуляции (кроме амплитудно-импульсной), которые требуют, как правило, широкой полосы частот тракта связи.

Характерным свойством таких методов модуляции является возможность улучшения качества связи не только за счет увеличения энергии принимаемых сигналов, но и за счет увеличения спектра частот, которые занимают эти сигналы, таким образом, используя для радиорелейной связи широкую полосу частот, можно обеспечить передачу большого количества информации и добиться существенного улучшения качества связи.

**Второе свойство УКВ диапазона - практическое отсутствие внешних атмосферных и промышленных помех - выдвигает на первое место внутренние флуктуационные шумы приемных устройств. Уровень внутренних шумов легко учитывается при проектировании станции и расчете количества связи и при необходимости может быть уменьшено применение специальных малошумящих усилителей. Это также способствует существенному повышению качества связи на радиорелейной линии.**

**Третье свойство УКВ диапазона** - малая дифракционная способность, которая тем меньше, чем короче используемая для связи длина волны. Это явилось основной причиной применения промежуточных станций для организации связи на большие расстояния. Протяженность интервалов между соседними станциями должна быть такой, чтобы обеспечивалась прямая геометрическая видимость между их антенными системами. Уверенная связь на каждом интервале обеспечивается передатчиками сравнительно малой мощности (ед., десятки ватт).

Препятствия, закрывающие линию прямой видимости, вызывают очень большое ослабление радиосигналов, компенсация которого требует резкого увеличения мощностей передатчиков. Это явление особенно характерно для линии, работающих в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн. В диапазоне метровых волн допускается частичное закрытие препятствиями линий прямой видимости на интервалах связи, но и в этом случае существенно понижается уровень полезного сигнала в месте приема и ухудшается качество связи.

При гладкой сферической поверхности земли дальность прямой видимости определяется выражением:

$$R_{km} = 3.57(\sqrt{h_1(m)} + \sqrt{h_2(m)});$$

## 5. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РРЛ, КЛАССИФИКАЦИЯ РРЛ.

### *Структура и состав оконечной станции линии.*

- оборудование высокочастотного (ВЧ) ствола (радиотракта);

- групповое оборудование;

- аппаратуру уплотнения (разделения) каналов, причем каждый из этих видов оборудования функционально подразделяется на тракты передачи (Пер) и приема (Пр).



# Оборудование ВЧ ствола содержит:

- усилители радиосигналов (УсРС);

- радиопередающего (РПУ) и радиоприемного (РПрУ);

- устройств и элементы антенно-фидерного тракта;

- включающие дуплексирующее устройство (ДУ);

- фидер и антенну;

Дуплексирующее устройство, называемое иногда блоком частотной развязки (БЧР), обеспечивает ведение передачи и приема одновременно по одному и тому же фидеру, через один и тот же облучатель антенны при различных частотах передачи и приема, но при одинаковой поляризации их волн. При работе без использования дуплексирующего устройства (если такой режим предусмотрен) передача и прием осуществляется по отдельным фидерам с различной поляризацией волн передачи и приема.

Групповое оборудование в тракте передачи содержит групповой усилитель (ГУ) и модулятор (М), обычно входящие в состав РПУ, а в тракте приема - демодулятор (Д) и групповой усилитель также, как правило, являющиеся составными элементами РПрУ.

В тракте передачи оконечной станции линии сигналы преобразуются в следующем порядке. На первом этапе модуляции в АУ из сигналов ТЧ формируется групповой сигнал. На втором этапе модуляции в модуляторе колебания ВЧ (ПЧ) модулируется групповым сигналом, т.е. формируется многоканальный (МК) радиосигнал. Далее в усилителе радиосигнала РПерУ этот радиосигнал приводится к требуемому значению несущей частоты, усиливается до необходимой (заданной) мощности и поступает в антенно-фидерный тракт.

В тракте преобразование принятого многоканального радиосигнала происходит в обратном порядке, причем на первом этапе демодуляции в демодуляторе из многоканального радиосигнала выделяется групповой сигнал, а на втором этапе демодуляции в АУ тракта приема групповой сигнал разделяется на сигналов ТЧ.

На оконечных РРС линии второй полукомплект оборудования либо не используется (выключен), либо может использоваться совершенно независимо от другого, в качестве оконечной станции другой РРЛ, оканчивающейся на данном узле связи.

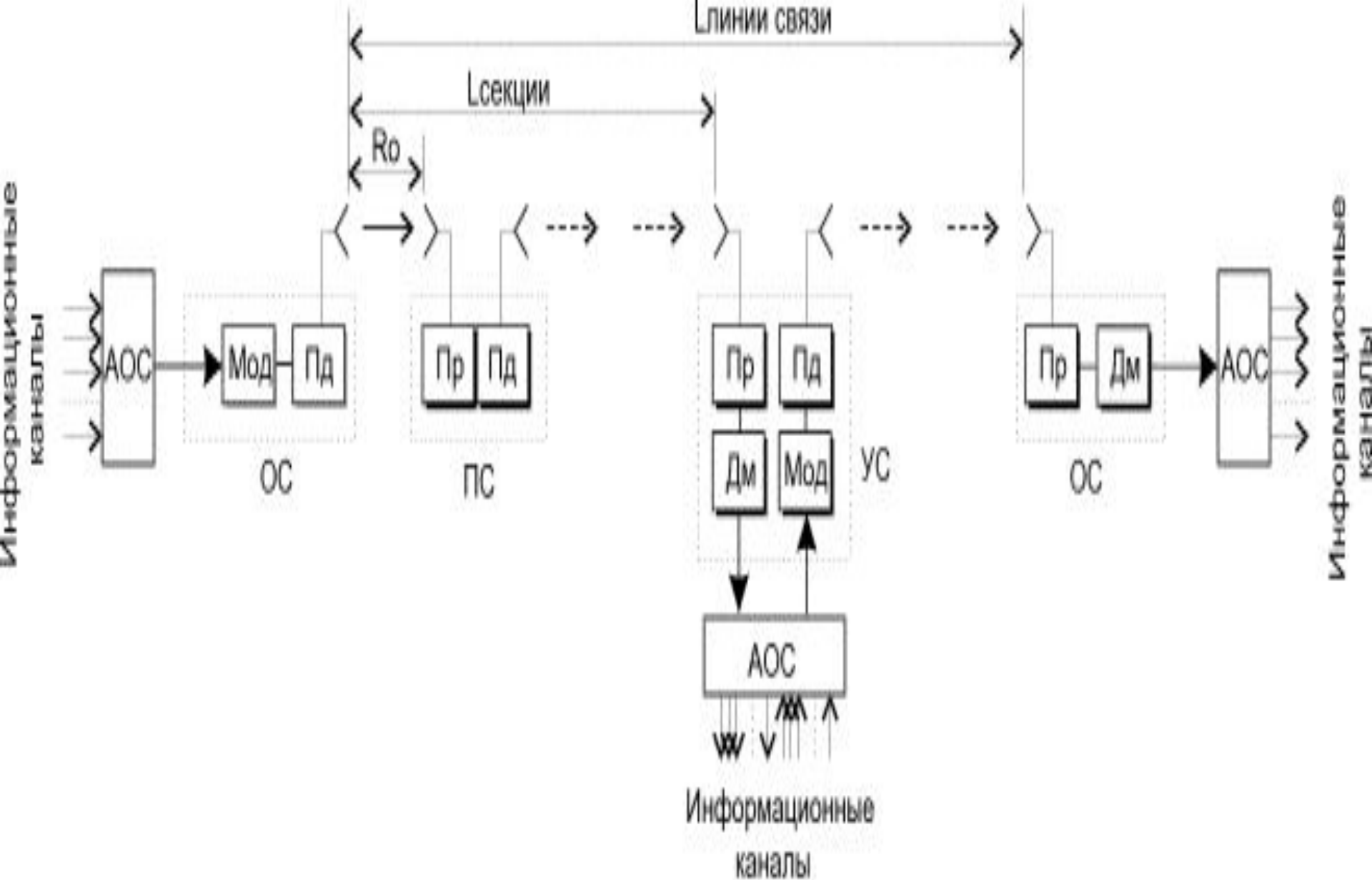


Рис. 1.1. Структурная схема одного направления радиорелейной линии связи

# Режимы работы радиорелейной станции:

1. по радиотракту (обычно ПЧ)-  
транзит радиотракта;

2. по групповому тракту -  
транзит группового тракта;

3. по широкополосным  
каналам - транзит ШК;

4. по каналам тональной  
частоты - транзит ТЧ,  
переприём по ТЧ.

На большинстве подвижных военных РРЛ чаще всего используется режим ретрансляции по групповому тракту №2, а на некоторых многоканальных РРЛ применяется также режим ретрансляции по радиотракту промежуточной частоты №1. Если промежуточная станция линии является узловой, т.е. на ней производится выделение (ответвление) части каналов, то эти каналы должны быть выделены из многоканального сигнала, т.е. демодулированы до сигналов ТЧ или ШК. В этом случае режим ретрансляции по радиотракту 1 в принципе не применим. В системах с ВРК возможны все остальные режимы ретрансляции, а в системах ЧРК только режимы 3 и 4. Режим ретрансляции (транзита) по ТЧ 4 наиболее универсален и всегда в принципе возможен, но он, как правило, наименее желателен, т.к. каждый новый транзит по ТЧ ухудшает сквозные характеристики ТЧ.

**Структура  
характеризуется  
параметрами:**

**военных РРЛ  
следующими**

- протяженностью линии  $L$ ;

- числом интервалов  $M$ ;

-числом РРС, образующих  
линию  $m$ ;

-протяженностью  
интервалов линии  $R_i$ ;

-средней протяженностью  
интервалов  $R_0$ ;



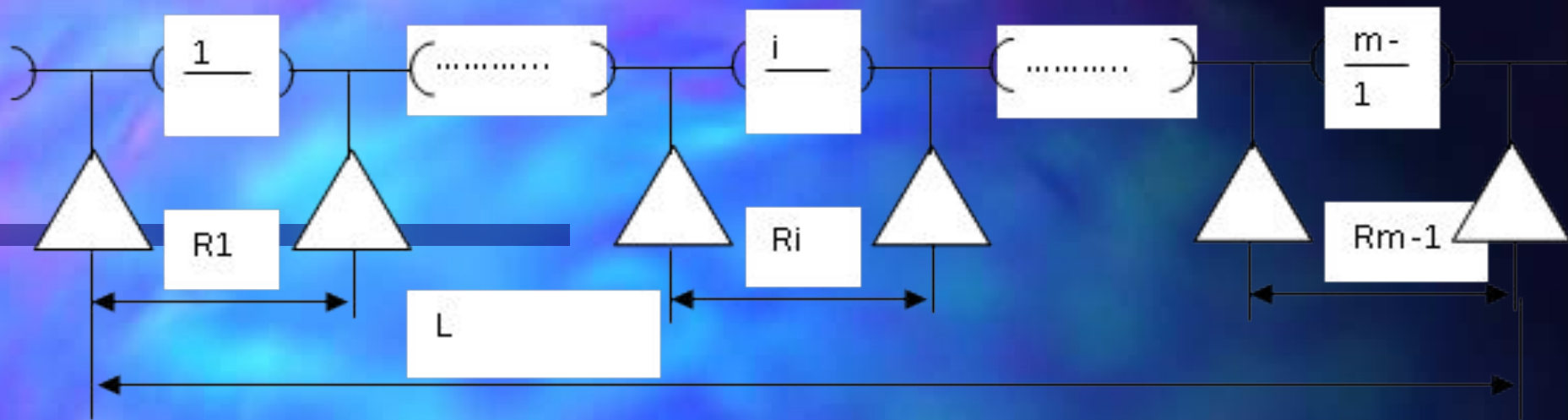


Рис 1 Структура РРЛ

Перечисленные параметры связаны соотношением:

$$L = \sum_{i=1}^M R_i$$

$$R_0 = L/M$$

$$m = M+1$$

# Для каждого типа подвижных военных РРЛ определяются:

- максимально допустимое значение протяженности линии;

- максимально допустимое число интервалов  $M$ ;

-соответствующее значение средней протяженности интервала.

# В организационном плане структура военных РРЛ характеризуется:

-числом узловых станций, обеспечивающих привязку линии к соответствующим УС;

-числом участков линии между узловыми станциями;

-способом привязки

узловых и конечных станций линии к УС;

-распределением каналов линии.

Все радиорелейные линии в зависимости от области использования делятся на два класса:

-стационарные;

-мобильные или подвижные.

# По используемым средствам радиорелейные линии делятся на:

-радиорелейные линии прямой видимости;

-тропосферные радиорелейные линии.

# По назначению радиорелейные линии делятся на:

-осевые радиорелейные линии;

-рокадные радиорелейные линии;

-радиорелейные линии привязки;

-радиорелейные линии прямой связи;

-радиорелейные линии дистанционного управления.

# По способу уплотнения каналов и типу модуляции ВЧ колебаний передатчиков радиорелейные линии делятся на:

- радиорелейные линии с частотным уплотнением и частотной модуляцией ВЧ колебаний передатчиков;

- радиорелейные линии с временным уплотнением и передачей сообщений в аналоговой форме;

- радиорелейные линии, предназначенные для передачи сообщений в цифровой форме.

# По диапазону используемых частот радиорелейные линии делятся на:

- радиорелейные линии привязки;

- радиорелейные линии дециметрового диапазона;

- радиорелейные линии сантиметрового диапазона;

- радиорелейные линии миллиметрового диапазона.

**К подвижным** радиорелейным средствам связи относят военные РРС, оборудование которых размещается в унифицированных кузовах, смонтированных на шасси автомобилей или автоприцепов.

**К стационарным** радиорелейным средствам связи относят военные РРС, оборудование которых установлено на соответствующем стационарном узле связи для постоянной работы.

**К малоканальным** радиорелейным средствам связи относят военные РРС, обеспечивающие развертывание линий связи с числом каналов ТЧ не более 12.

**К многоканальным** радиорелейным средствам связи относят военные РРС, обеспечивающие развертывание линий связи с числом каналов ТЧ более 12, но не более 60.

## 5. ЧАСТОТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ (ЧРК).

Качество каналов ТЧ применительно к подвижным РРЛ определяется следующими основными показателями и характеристиками:

- шумовой защищенностью каналов дБ;

- достоверностью передачи дискретных сигналов;

- стабильностью остаточного затухания  $\alpha_T$ .

- надежностью линии по замираниям  $N, \%$ ;
- характеристиками

канала

ТЧ: остаточным затуханием, амплитудной, амплитудно-частотной, фазо-частотной;

**Шумовая защищенность канала (ШЗК)** -  
Выраженное в логарифмических единицах  
(децибелах, неперах) отношение мощности  
измеренного синусоидального сигнала частоты 800  
Гц на выходе к суммарной мощности шумов в той  
же точке:

$$a_{\text{Ш}}[\text{дБ}] = 10 \lg$$

$$a_{\text{Ш}}[\text{нп}] = 0.5 \lg$$

В зависимости от метода измерения различают  
шумы (и соответственно шумовую защищенность)  
интегральные и псофометрические.

Псофометрическая мощность шума меньше  
интегральной и связана с ней псофометрическим  
коэффициентом

$R_{2\text{ПС}} = (0,75)^2 = 0,56$ . Соответственно  
псофометрическая шумовая защищенность больше  
интегральной на 2,6 дб. (0,3 нп).



При таких значениях шумовой защищенности каналы ТЧ обеспечивают многоцелевое предназначение. Они пригодны для передачи телефонных сигналов, сигналов аппаратуры тонального телеграфирования (аппаратуры вторичного уплотнения), фототелеграфа, аппаратуры передачи бинарной информации. Передача телефонных сообщений по каналам с хорошим качеством обеспечивается смысловой разборчивостью 97-98%, по удовлетворительным каналам - с разборчивостью 95-97% при затухании проводных линий, соединяющих РРС с узлами связи, до 10 дБ.

**Надежность по замираниям** - надежность, с которой на РРЛ полной протяженности обеспечивается номинальная шумовая защищенность каналов а при условии полной исправности и абсолютной надежности аппаратуры всех РРС линий:

$$N\% = 100 - T\%$$

$$\text{Где } T\% = 100\%$$

Величина  $T\%$  является потерей надежности линии по замираниям, равной выраженному в процентах отношению суммы отрезков времени  $t$  в течение которых  $a_{ШР} \cdot Ш$ , ко времени наблюдения  $t_H$ .

Для подвижных военных РРЛ временем наблюдения являются сутки.

Достоверность передачи дискретных сигналов по каналам ТЧ  $Q$  определяется отношением числа правильно принятых символов (как правило, элементарных посылок) к общему числу символов переданных за определенный (обычно нормируемый) промежуток времени (сеанс связи).

Потери достоверности  $p_{ОШ} = 1 - Q$  при передаче бинарной информации по каналам ТЧ с установленной скоростью (например, 1200 Бод) не должны превышать нормированное значение (например,  $10^{-4}$ ) в течение  $H\%$  (например, 95%) сеансов передачи. В таком случае обеспечивается передача дискретной информации с достоверностью  $Q$  с надежностью по замираниям  $H\%$ .

**Показатель качества каналов Q (или pOШ)** существенно зависит не только от шумовой защищенности аШ, но и от электрических характеристик канала: остаточного затухания, амплитудной, частотной и особенно фазочастотной характеристик.

**Остаточное затухание канала** на практике определяют как разность уровней синусоидального сигнала определенной частоты на входе и выходе канала (для канала ТЧ - сигнала частоты 800Гц).

$$aR = P_{BX} - P_{BIX}$$

$$\text{где: } P_{BX} [\text{дБ}] = 10 \lg$$

$$P_{BIX} [\text{дБ}] = 10 \lg$$

**Амплитудная характеристика канала ТЧ(АХ)** определяет динамический диапазон амплитуд, уровней, при котором линейность зависимости величины выходного сигнала от входного сохраняются в пределах требуемых норм. Обычно используется амплитудная характеристика в виде зависимости остаточного затухания канала от уровня входного сигнала, в качестве которого используется синусоидальный сигнал частоты 800 Гц.

Амплитудная характеристика (АХ) записывается в виде

$$DaR(F) = LR(F) - aR(800 \text{ Гц}) \quad \text{при}$$
$$PBX = P * BX = \text{const}$$

**Амплитудно-частотная характеристика канала ТЧ (АЧЧ)** обычно используется в виде зависимости величины отклонения остаточного затухания канала на данной частоте относительно остаточного затухания на частоте 800 Гц. Нормы на допустимые отклонения задаются для всех частот в пределах полосы эффективно передаваемых частот от 0,3 до 3,4 кГц. АЧЧ записывается в виде

$$D_a R(f) = LR(f) - aR(800 \text{ Гц}) \quad \text{при} \\ P_{ВХ} = P * B_{Х} = \text{const}$$

При максимально допустимом числе транзитов по тональной частоте МТЧ АЧЧ должна удовлетворять нормам.

**Фазочастотная характеристика канала ТЧ (ФЧХ)** представляет собой зависимость от частоты величины сдвига между фазами синусоидального колебания на входе и выходе канала при постоянном уровне входного сигнала  $\Phi$

$$\Phi(f) = jB_{ВХ} - jB_{Х} \quad \text{при} \quad P_{ВХ} = P * B_{Х} = \text{const}$$

**Стабильность остаточного затухания канала ТЧ - постоянстве во времени величины остаточного затухания канала на частоте 800 Гц, характеризуемое допустимыми значениями отклонений остаточного затухания от номинала.**

**Нормы на эти характеристики задаются для РРЛ полной протяженности L при максимально допустимом числе транзитов (переприемов) по ТЧ.**