

Южно-Уральский Государственный Университет  
Факультет Военного Обучения  
Военная Кафедра Связи

Цикл военно-специальной и военно-технической подготовки

Тема №1 «Основы радиорелейной и тропосферной связи»

Занятие №5 «Качественные показатели каналов и трактов военных радиорелейных линий»  
(лекция).

Вопросы занятия:

1. Качественные показатели каналов и трактов военных радиорелейных линий.
2. Влияние среды распространения на качество связи и построение радиорелейных линий.
3. Помехоустойчивость радиорелейных линий с частотным разделением каналов и частотной модуляцией

Челябинск, 2012г.

## **ВВОДНАЯ ЧАСТЬ - 15 мин.**

- 1. Ответить на вопросы, возникшие у студентов при самостоятельной подготовке.**
- 2. Проверить усвоение материала предыдущего занятия путем устного опроса студентов.**

### **Контрольные вопросы:**

- Доложить структуру и характеристики многоканального ЧМ-радиосигнала**
- Доложить принцип работы дифференциальной системы, балансного модулятора и вызывных устройств.**
- Объявить тему занятия.**



## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ - 70 мин.

### 1. Качественные показатели каналов и трактов военных радиорелейных линий. - 30 мин.

#### 1.1 Показатели качества и характеристики каналов и трактов РРЛ.

Основным видом каналов современных подвижных военных РРЛ являются стандартные каналы ТЧ с полосой эффективно передаваемых частот 0,3-3,4 кГц., удовлетворяющие действующим нормам и требованиям, предъявляемым к каналам полевых военных средств связи.

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

- шумовой защищенностью каналов дБ;
- надежностью линии по замираниям Н,%;
- достоверностью передачи дискретных сигналов;
- характеристиками канала ТЧ: остаточным затуханием, амплитудной, амплитудно-частотной, фазо-частотной;
- стабильностью остаточного затухания  $\Delta t$ .

Для каждого конкретного типа подвижных военных РРЛ нормы на эти показатели и характеристики указываются в тактико-технических данных соответствующих конкретных типов РРС. При этом подразумевается, что линия имеет максимальную (полную) протяженность при номинальном числе интервалов М и максимально допустимом числе транзитов (переприемов) по ТЧ (обычно не более 2-3).

**Шумовая защищенность канала (ШЗК) - выраженное в логарифмических единицах (дБ, Нп) отношение мощности измеренного синусоидального сигнала частотой 800 Гц на выходе к суммарной мощности шумов и той же точке:**

$$a_{ш} [дБ] = 10 \lg(P_{800}/P_{ш})$$

$$a_{ш} [Нп] = 0,51 \lg(P_{800}/P_{ш})$$

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  $R^2_{пс} = (0,75)^2 = 0,56$ . Соответственно псофометрическая шумовая защищенность больше интегральной на 2,6 дБ (0,3 Нп). Для подвижных военных РРЛ установлены нормы, указанные в таблице:

Шумовая защищенность	Качество канала			
	Хороший канал		Удовлетв. канал	
	дБ	Нп	дБ	Нп
$a_{ш\text{ пс}}$	37,3	4,3	31,2	3,6
$a_{ш\text{ инт}}$	34,8	4,0	28,7	3,7

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 при условии полной исправности и абсолютной надежности аппаратуры всех РРС линий:

$$H\% = 100 - T\%$$

Для подвижных военных РРЛ временем наблюдения являются сутки. В соответствии с нормами требуется, чтобы для так называемых наихудших суток года, когда замирания радиоволн наиболее интенсивны, на РРЛ полной протяженности обеспечивалась надежность по замираниям  $H\% = 95-97\%$ .

Показатели качества каналов аш и  $H\%$  непосредственно зависят от качества планирования РРЛ и правильности выбора мест развертывания РРС, чем достигаются требуемые величины запасов уровней ВЧ радиосигналов на интервалах РРЛ. Именно этим и обеспечивается выполнение условия надёжности по замираниям:  $H\% > H^*\%$  при  $a\text{ш} \geq a^*\text{ш}$ .

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

Показатель качества каналов  $Q$  (или Рош) существенно зависит не только от шумовой защищенности  $a_{ш}$ , но и от электрических характеристик канала: остаточного затухания, амплитудной, частотной и особенно фазо-частотной характеристик.

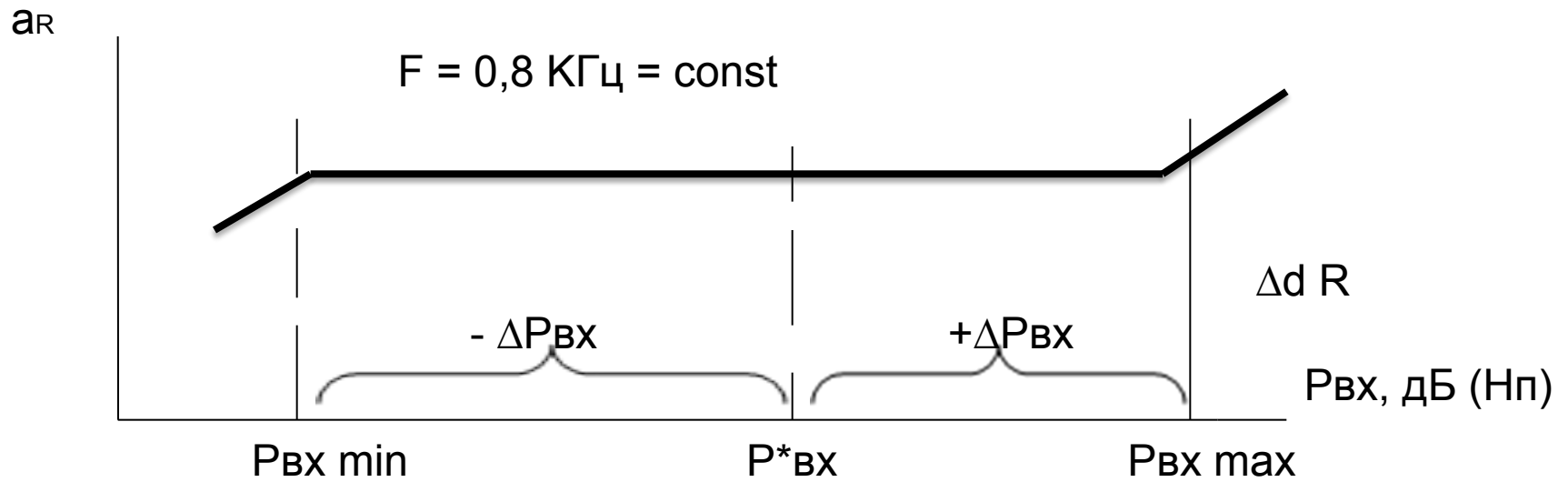
Остаточное затухание канала на практике определяют как разность уровней синусоидального сигнала определенной частоты на входе и выходе канала ( для канала ТЧ - сигнала частоты 800Гц):

$$a_R = P_{вх} - P_{вых}$$

где:  $P_{вх} \text{ (дБ)} = 10 \lg P_{вх800/1} \text{ мВт}$        $P_{вых} \text{ (дБ)} = 10 \lg P_{вых800/1} \text{ мВт}$

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. Для каналов подвижных РРЛ амплитудная характеристика должна быть линейна и с точностью до  $\Delta a_{R1} \text{ Нп}$  при превышении номинального входного уровня на величину  $+\Delta P_{вх0,4} \text{ Нп}$  (хороший канал) ,  $+\Delta P_{вх} \leq 0,3 \text{ Нп}$  (удовл. канал):

Рис. 4.1



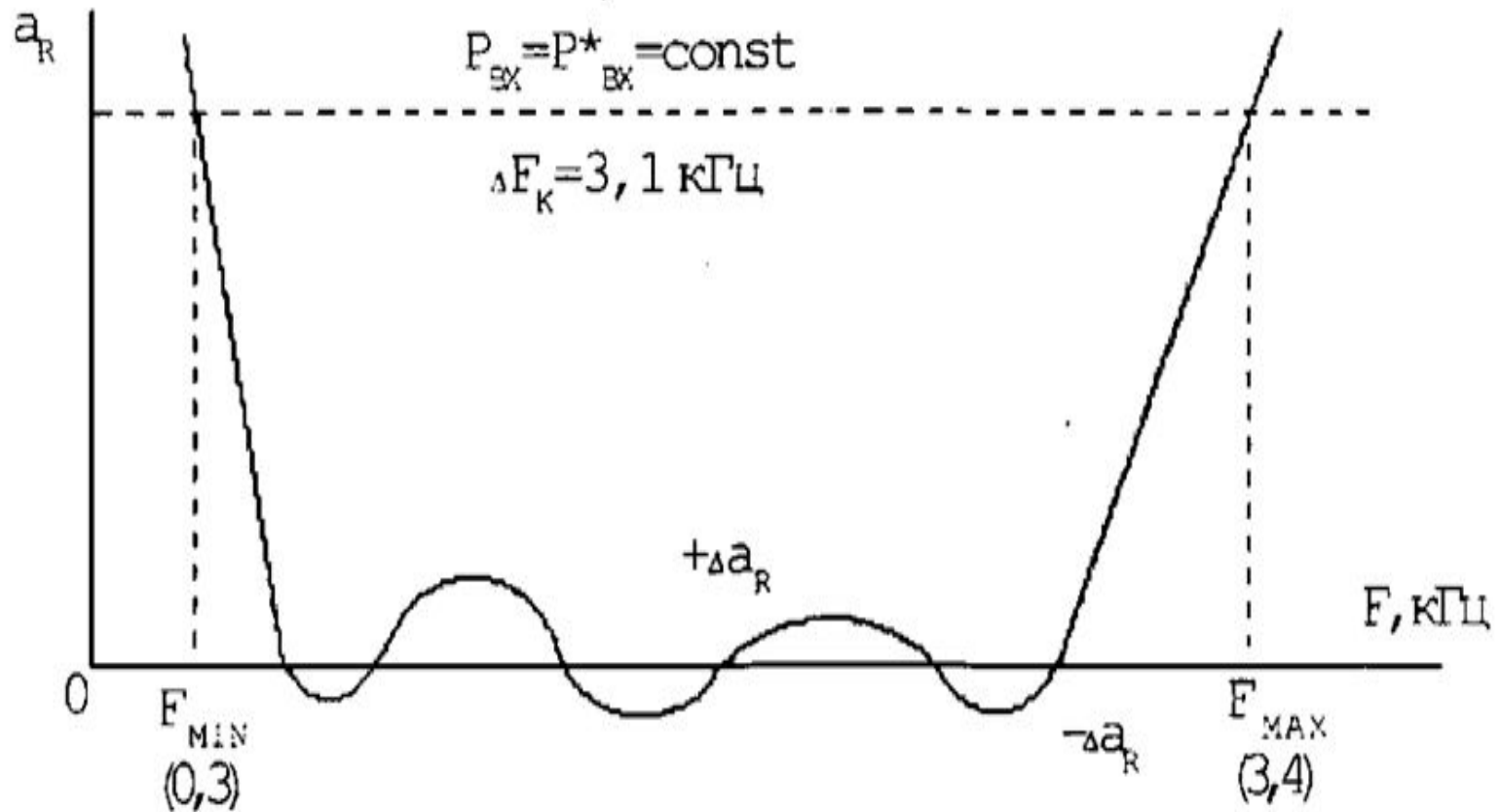


Амплитудно-частотная характеристика канала ТЧ (АЧЧ) (рис 4.2) обычно используется в виде зависимости величины отклонения остаточного затухания канала на данной частоте относительно остаточного затухания на частоте 800 Гц. Нормы на допустимые отклонения задаются для всех частот в пределах полосы эффективно передаваемых частот от 0,3 до 3,4 кГц. АЧЧ записывается в виде

$$\Delta a_R (F) = LR (F) - a_R (800 \text{ гц}) \text{ при } P_{ВХ} = P^*_{ВХ} = \text{const}$$

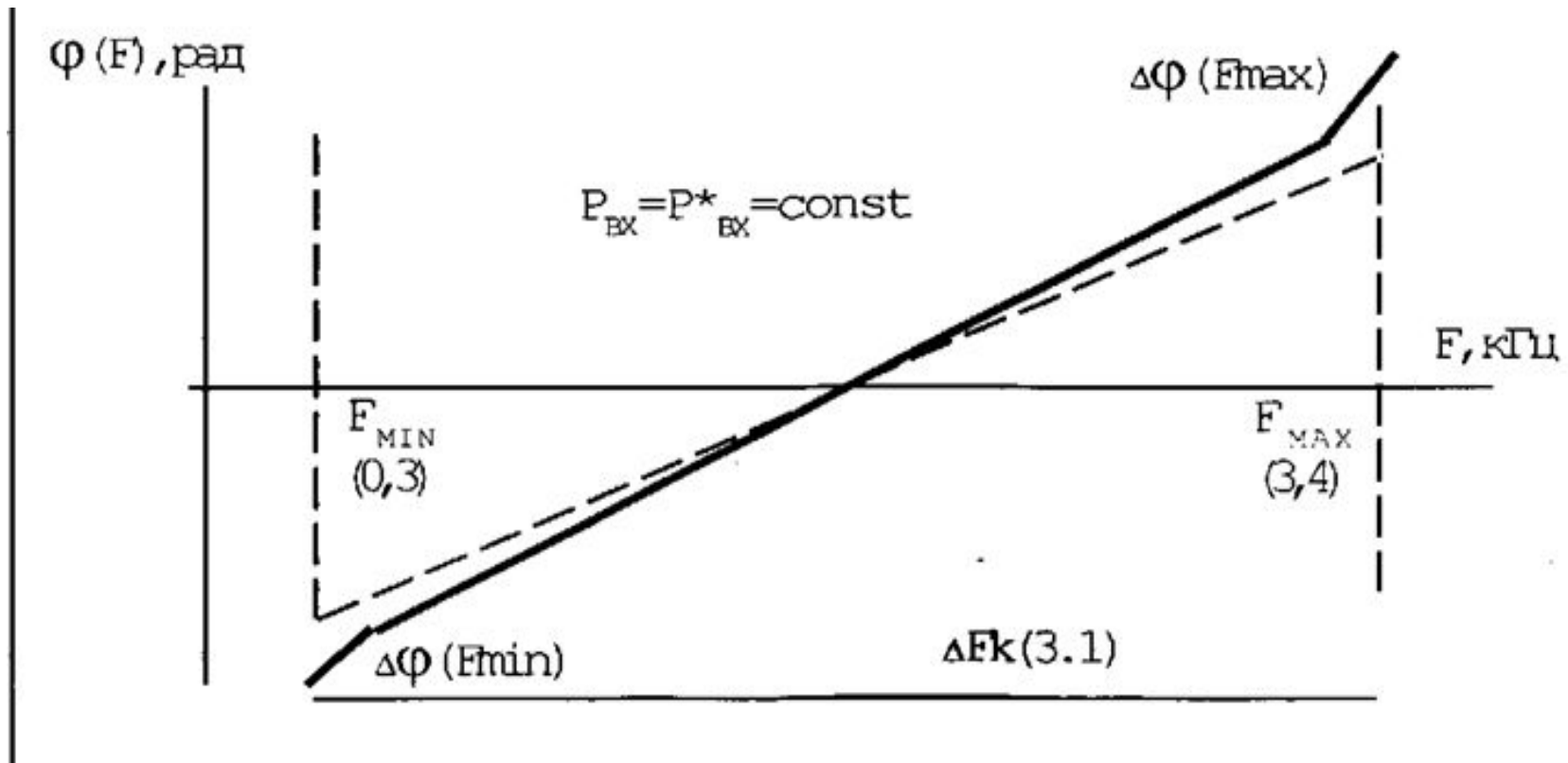
При максимально допустимом числе транзитов по тональной частоте АЧЧ должна удовлетворять нормам, указанным в таблице 4.2.

Частота кГц	Качество канала	
	Хорошее	Удовлетворительное
Верхняя граница $+da_k^* N_{пн}$		
0,3–0,4	1,0	1,4
0,4–0,6	0,5	0,8
0,6–2,3	0,25	0,4
2,3–2,6	0,5	0,8
2,6–2,9	0,5	1,0
2,9–3,2	3,0	3,0
Нижняя граница $-\Delta a_R^* N_{пн}$		
0,3–3,4	0,25	0,4



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 (рис. 4.3):

$$\Phi(F) = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} \text{ при } P_{\text{вх}} = P^*_{\text{вх}} = \text{const}$$



Стабильность остаточного затухания канала ТЧ – постоянство 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.

При соответствии характеристик нормам величины искажений сигналов, передаваемых по каналам ТЧ, не превышают допустимых пределов. Так, например, несоответствие нормам ФЧХ приводит к снижению достоверности передачи информации по каналу ТЧ с установленными скоростями, несоответствие нормам стабильности остаточного затухания канала может привести к нарушению нормальной работы аппаратуры тонального телеграфирования и аппаратуры фототелеграфа, в каналах, включенных в режимы с двухпроводным выходом, может возникнуть самовозбуждение.

Широкополосные каналы и групповые тракты РРЛ характеризуются аналогичными и некоторыми специфическими показателями качества.

## 2. Влияние среды распространения радиосигналов на качество связи и построение РРЛ – 30 мин.

### 2.1 Распределение уровня радиосигнала на интервале РРЛ.

Рассмотрим распределение уровня мощности радиосигнала на интервале РРЛ между выходом радиопередающего устройства одной РРС и входом радиоприёмного устройства другой РРС данного интервала РРЛ.

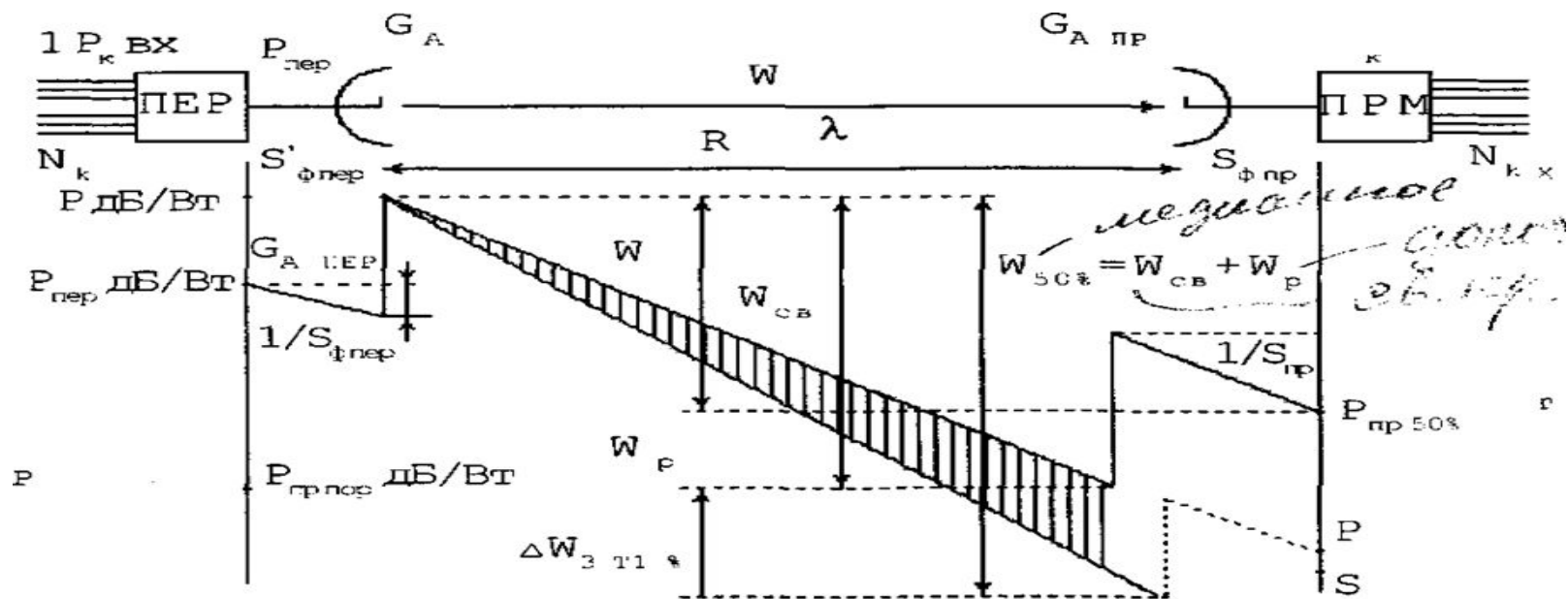


Рис .4.4

Распределение уровня радиосигнала на интервале РРЛ:

- а) структурная схема интервала РРЛ;
- б) диаграмма распределения уровня.

На рис .4.4 схематично изображен интервал N-канальной радиорелейной линии (при связи в одну сторону). Мощность радиопередающего устройства равна  $P_{пер}$ , КПД передающего фидера  $\eta_{ФПЕР}$  усиления передающей антенны  $G_{А ПЕР}$ . На приемной стороне мощность радиосигнала на входе радиоприёмного устройства составляет величину  $P_{пр}$ , коэффициент усиления приемной антенны и КПД приемного фидера равны соответственно  $G_{А ПР}$  и  $\eta_{ФПР}$ . Связь осуществляется на частоте  $f$ , длине волны  $\lambda$ , протяженность интервала  $R$ . На выходе  $K$  канала линии при отрегулированном остаточном затухании

$$a_R = P_{к вх} - P_{к вых}$$

мощность шумов составляет величину  $P_{шк}$ . Величина  $a_R$  стабильна благодаря применению частотной или импульсной модуляции.

Затухание радиосигнала на интервале, определяемое как затухание между входом и выходом передающей и выходом приемной антенн при условии, что  $G_{\text{пер}} = G_{\text{пр}} = 1$ , состоит из трех слагаемых

$$W = W_{\text{св}} + W_{\text{р}} + \Delta W_{\text{з}} (T\%)$$

где  $W$  - так называемое затухание радиосигнала в свободном пространстве;

$W_{\text{р}}$  - дополнительное (к условиям свободного пространства) затухание, вызываемое влиянием рельефа местности при нормальной рефракции волн;

$\Delta W_{\text{з}}(T\%)$  - приращение затухания  $W$  относительно медианного значения  $W_{50\%}$ , возникающее вследствие замираний напряженности электромагнитного поля при изменении условий распространения радиоволн. Индекс  $T_1\%$  указывает, что глубина замираний  $\Delta W_{\text{з}}$  соответствует определенной вероятности  $T_1\%$  (определенному проценту времени, так называемых, наихудших суток года, в течение которых наблюдаются наиболее интенсивные замирания). Величина

$$W_{50\%} = W_{\text{св}} + W_{\text{р}}$$

(причем затухание в свободном пространстве  $W_{\text{св}} = 10 \lg(4\pi R/\lambda)^2$ )

представляет собой затухание радиосигнала между входом передающей и выходом приемной антенн при условии, что  $G_{\text{пер}} = G_{\text{пр}} = 1$  и связь проходит в условиях свободного пространства. Зависимость величины  $W_{\text{св}}$  от длины волны  $\lambda$ , объясняется тем, что от  $\lambda^2$

в прямой пропорции зависит эффективная площадь приемной антенны. Если мощности  $P_{\text{пер}}$  и  $P_{\text{пр}}$  выражены в децибелах относительно одного ватта, а остальные (безразмерные) величины - в децибелах, то зависимость между  $P_{\text{пер}}$  и  $P_{\text{пр}}$  выражается следующим уравнением передачи радиосигнала :


$$P_{\text{пер}}[\text{дБ/Вт}] = P_{\text{пр}}[\text{дБ/Вт}] - (1/\eta_{\text{ф пер}})[\text{дБ}] + G_{\text{А пер}}[\text{дБ}] - W[\text{дБ}] + G_{\text{А пр}}[\text{дБ}] - (1/\eta_{\text{ф пр}})[\text{дБ}] \quad (1.13)$$

Эта зависимость с учетом выражения (1.13) графически отображается диаграммой распределения уровня радиосигнала на интервале, представленной на рис. 2.1. Сплошной линией показана диаграмма для случая, когда замирания отсутствуют:

$$\Delta W_3(T1\%)=0; W=W50\%$$

Штриховой линией изображена диаграмма для некоторого момента времени, которому соответствует замирание глубиной  $\Delta W_3(T\%)$ . Глубина замираний в малом проценте времени  $T \leq 1\%$  (с малой вероятностью), как показывает статистика, может достигать 20-30 дБ и более.





Из диаграммы видно, что уровень радиосигнала на интервале с увеличением расстояния быстро снижается главным образом за счет возрастания величины затухания в свободном пространстве  $W_{св}$ , соответствующего для интервалов протяженностью 30-40 км. в диапазонах волн 7-20 см. величинам порядка 125-135 дБ. К этому добавляется затухание  $W_p$ , величина которого на правильно выбранных интервалах не превышает 6-10 дБ, и затухание в фидерах, в сумме составляющее величины, как правило, также не более 6-10 дБ. Столь существенные потери в фидерах объясняются достаточно большой их длиной при мачтах, высотой 20 и 30 м, типовые фидеры имеют длину соответственно 40 и 50 м. Хотя антенны и являются пассивными элементами, они эквивалентны весьма эффективным усилителям, повышающим в сотни и тысячи раз мощность сигнала, так как резко концентрируют поток энергии радиоволн в направлении своего максимального излучения, ориентированного на корреспондента. Например, одна антенна с коэффициентом усиления  $G_A=24$  дБ эквивалентна усилителю, повышающему мощность передатчика в 250 раз. Так как антенн на интервале две, то усиление составит 48 дБ, т.е. 62500 раз!


Применяя направленные антенны, можно существенно снизить мощность радиопередающего устройства, необходимую для надежной работы РРЛ в условиях замираний радиосигналов при использовании сравнительно простых, достаточно экономичных радиоприемных устройств, имеющих коэффициент шума порядка  $K_{ш} = 8 - 12$  дБ.

## 2.2 Влияние среды распространения радиосигналов на построение РРЛ.

Из рассмотренного уравнения передачи (4.3), а также из выражения (4.10) видно, что среда распространения радиосигнала на интервале РРЛ влияет на величину затухания  $W$  двояким образом.

Во-первых, от рельефа местности зависит дополнительное затухание  $W_p$ . На распространяющиеся, вдоль поверхности земли, радиоволны неровности рельефа местности, массивы леса и строений оказывают экранирующее действие, ослабляющее напряженность электромагнитного поля. На интервалах, где антенны расположены на достаточно больших высотах, возникают отраженные от поверхности земли волны, которые в случае сложения их в противофазе с прямой волной могут существенно ослаблять уровень радиосигнала у приемной антенны.

Фактор влияния рельефа местности (поверхности земли) оказывает влияние на построение РРЛ следующим образом. На этапе проектирования нового средства радиорелейной связи учитывают, что при эксплуатации палевых средств невозможно оптимально выбрать все интервалы РРЛ, сводя значения  $W_p$  к нулю. По этому при расчёте и выборе энергетических параметров РРС ( $P_{\text{ПЕР}}$ ;  $G_{\text{А ПЕР}}$ ;  $G_{\text{А ПР}}$ ;  $\eta_{\text{Ф ПЕР}}$ ;  $U_{\text{Ш}}$ ) на основе уравнения (4.13) задаются некоторым значением, исходя из опыта полевой эксплуатации радиорелейных средств связи. Обычно вводится энергетический запас на рельеф, как указывалось, порядка 6-10 дБ. Чем больше такой запас введен: на этапе проектирования средства радиорелейной связи, тем легче будет эксплуатировать это средство в палевых условиях, что, однако, удорожает РРС.



На этапе эксплуатации средства радиорелейной связи рассматриваемый фактор требует тщательного планирования трасс РРЛ, выбора по топографическим картам точек развертывания РРС с учетом рельефа местности. При неудачном выборе мест развертывания РРС величина  $W$  на данном интервале может оказаться значительно больше допустимой величины, обусловленной энергетическим запасом на рельеф, и связь на данном интервале, а следовательно, и на всей линии может оказаться по качеству неудовлетворительной. Необходимость тщательного планирования РРЛ и их расчета с помощью топографических карт и специальной методики до развертывания – важная особенность, вытекающая из влияния среды распространения радиосигналов на интервалах РРЛ на качество связи.

Во-вторых, так как распространение радиоволн на интервалах РРЛ происходит в приземных слоях тропосферы, примыкающих к поверхности земли, то имеет место фактор, вызывающий непостоянство во времени величины  $W$ . Физических причин, приводящих, к случайному изменению величины  $W$  имеется две.

Первая причина - рефракция волн, т.е. искривление их траекторий в воздушной среде, имеющей высотный градиент диэлектрической проницаемости. Поскольку величина градиента медленно изменяется случайным образом при изменении температуры, давления и влажности воздуха, соответственно изменяется и степень рефракции. Это приводит к медленному изменению кривизны траектории волн и к непостоянству степени экранирования местностью потока энергии радиоволн. Кроме того, изменяются значения фаз отраженных от поверхности земли волн относительно фазы прямой волны. Уровень сигнала на интервале медленно изменяется с квазипериодом, составляющим минуты, десятки минут и даже часы.

Вторая причина - отражения волн диэлектрическими неоднородностями тропосферы, например, низко расположенными (на высотах до 100-200 м.) инверсионными слоями воздуха, в которых наблюдается положительный высотный температурный градиент вместо нормального отрицательного. Отражений может возникать несколько, от ряда слоев. Интерференция отраженных волн у приемной антенны приводит к быстрым замираниям напряженности поля с квазипериодом порядка единиц секунд - десятков секунд. Суммарная картина замираний весьма сложна. Замирания характеризуются полученными статистическими методами на основе длительных экспериментальных исследований графиками распределения вероятности глубины замираний, т.е. кривыми зависимости

$$\Delta W_3 = f(T\%) .$$

Оказалось, что такие кривые при малых значениях  $T\%$  различны для различных диапазонов частот. Вследствие замираний величина  $P_{\text{ш}}$  на входе приемного устройства (см. рис.4.3) непостоянна. На выходе приемника благодаря применению ЧМ или ИМ величина  $a_R = \text{const}$ , следовательно, уровень полезного сигнала не изменяется. В то же время мощность шумов  $P_{\text{шк}}$  на выходе каналов, как показывает анализ, приблизительно обратно пропорциональна величине  $P_{\text{пр}}$ :

$$P_{\text{шк}} \approx P_{800} A/P_{\text{пр}}$$

где  $A$  - постоянная величина, имеющий размерность мощности, определяемая видом и параметрами модуляции, а также параметрами радиоприемного устройства.

### 3. Помехоустойчивость РРЛ с ЧРК-ЧМ. -10 мин.

#### 3.1 Общие сведения о составляющих шумов в каналах РРЛ с ЧРК-ЧМ.

В каналах РРЛ с ЧРК-ЧМ имеют место шумы в основном трех типов: тепловые шумы  $P_{\text{шт}}$ ; шумы нелинейных переходов  $P_{\text{шнп}}$ ; и аппаратные шумы  $P_{\text{шап}}$ . Все типы шумов возникают внутри аппаратуры, имеют характер невнятных шумов, аддитивны, суммируются по мощности, накапливаются по линии с увеличением числа интервалов. Тепловые шумы в каналах появляются вследствие искажений ЧМ радиосигнала собственными тепловыми шумами РПрУ. Характерная особенность составляющей  $P_{\text{шт}}$  - ее зависимость от мощности радиосигнала на входе РПрУ т.е. величины  $P_{\text{пр}}$ . Величина  $P_{\text{шт}}$  в сравнительно малоканальных РРЛ, к которым принадлежат военные РРЛ, составляет в среднем 50-60%, а в моменты замирании сигналов достигает 90% и более.

Шумы нелинейных переходов возникают вследствие неидеальности электрических характеристик элементов радиотракта и группового тракта при прохождении через них многоканального сигнала. Нелинейность характеристик приводит к появлению так называемых продуктов нелинейности, вызывающих искажения сигналов и проявляющихся в виде невнятных шумов. Составляющая  $P_{\text{шнп}}$  при уровнях радиосигнала, не превышающих нормальные, не зависит практически от величины  $P_{\text{пр}}$ , как правило, существенно меньше составляющей  $P_{\text{шт}}$ . Аппаратурные шумы складываются из индукционных наводок, неидеальной фильтрации продуктов преобразования сигналов и питающих напряжений и т. п. Обычно в правильно спроектированной аппаратуре их величина гораздо меньше мощности тепловых шумов и шумов нелинейных переходов.

### 3.2 Пороговый сигнал.

Радиоприемное устройство РРС с ЧРК-ЧМ нормально принимает ЧМ радиосигнал лишь в том случае, если мощность радиосигнала на входе РПрУ превышает пороговое значение  $P_{\text{пор}}$ . Условие:  $P_{\text{пр}} \geq P_{\text{пор}}$  является характерным для всех РПрУ, принимающих ЧМ радиосигналы, в том числе и многоканальные. При выполнении условия (4.19) тепловые шумы в каналах на выходе РПрУ существенно ниже полезного сигнала. При работе в этой области (выше порога) между величинами  $P_{\text{пр}}$  и  $P_{\text{шт}}$  существует обратная пропорция, что позволяет в принципе снижать тепловые шумы путем увеличения мощности радиосигнала на входе приемника. В области ниже порога ( $P_{\text{пр}} \geq P_{\text{пор}}$ ) составляющая шумов с уменьшением быстро нарастает, что приводит к резкому ухудшению качества связи и её срыву.

### Ш. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ - 5 мин.

1. Ответить на вопросы студентов.
2. Провести контрольный опрос 2-3 с тудентов по основному материалу лекции и, сделать вывод о степени достижения цели занятия.
3. Дать задание на самоподготовку.

Изучить вопросы:

- показатели качества каналов РРЛ;
- характеристики каналов РРЛ;
- эксплуатационные показатели качества каналов ТЧ РРЛ;
- распределение уровня радиосигнала на интервале РРЛ;
- общие сведения о составляющих шумов в каналах РРЛ с ЧРК-ЧМ.



Занятие  
закончено