Лекция 10

Расчет трасс радиорелейных линий прямой видимости

Расчет трасс РРЛ производится при их проектировании, реконструкции и иногда в условиях эксплуатации. **Общей задачей расчета** является определение качественных показателей работы линии.

Возможные схемы расчета

- в условиях эксплуатации и при реконструкции РРЛ → Известны: трасса и ее особенности, используемая аппаратура и электромагнитная обстановка
- при проектировании новых РРЛ → Известны: направление РРЛ с указанием основных пунктов, необходимая емкость линии, перспектива развития связи
- при разработке радиорелейных систем и оценке их эффективности → Известны: требуемые устойчивость работы РРЛ в малом и большом проценте времени и усредненные характеристики трасс

Особенности расчета трасс РРЛ в условиях их эксплуатации

Известны:	**Задача:** проведение поверочного расчета качественных показателей. Определяются:
1. трасса линии; 2. профили интервалов; 3. тип аппаратуры; 4. высоты антенных опор; 5. электромагнитная обстановка, определяемая взаимными помехами на РРЛ (при узлообразовании, прямом прохождении сигнала и т.д.), а также возможными помехами от других РРЛ или радиоэлектронных средств.	1. средние уровни сигнала на интервалах РРЛ; 2. мощность шума в верхнем телефонном канале или отношение $U_ш/U_с$ в телевизионном канале на конце линии, превышаемые в течение 50 и 20% времени (при передаче аналоговой информации); 3. устойчивость работы линии.

При расчетах в общем случае учитываются как полезные, так и мешающие сигналы. Полученные результаты сравниваются с рекомендациями ITU-R или другими нормами, после чего принимаются те или иные решения.

Особенности расчета трасс при проектировании РРЛ

Известны (из технического поручения, выдаваемого заказчиком):	**Производятся:**
1. направление РРЛ с указанием основных пунктов, 2. общие соображения по схеме организации связи и выделению каналов по трассе РРЛ; 3. необходимая емкость линии; 4. перспектива развития связи.	1. выбор трассы РРЛ; 2. выбор аппаратуры (иногда тип аппаратуры указывается заказчиком); 3. определение высот антенных опор из условий выполнения рекомендаций ITU-R или других принятых норм; 4. поверочный расчет мощности шума в верхнем телефонном канале или отношения $U_ш/U_с$ в телевизионном канале, превышаемые в течение 50 и 20% времени или поверочный расчет устойчивости; 5. поверочный расчет средних уровней сигнала.

Вопросы по всем пунктам должны решаться с учетом электромагнитной совместимости РРЛ и радиоэлектронных средств в заданном районе.

Особенности расчета трасс РРЛ при проектировании РРС

Известны:	Определяются:
1. нормированная устойчивость работы РРЛ в малом или большом проценте времени; 2. усредненные характеристики трасс.	1. требуемые параметры приемо-передающей аппаратуры; 2. требуемые параметры антенно-волноводного тракта.

Параметры аппаратуры и антенно-волноводного тракта должны обеспечивать требуемый энергетический запас на замирания сигнала.

Общий порядок проведения расчетов при проектировании РРС следующий:

1. Определение частотного диапазона работы РРС.
2. Расчет основных энергетических соотношений.
3. Учет рефракции радиоволн и рельефа местности.
4. Расчет множителя ослабления на различных трассах.
5. Расчет уровней сигнала на интервалах РРЛ.
6. Учет замираний сигнала на интервалах РРЛ.
7. Расчет устойчивости работы РРЛ.
8. Определение высот антенных опор при проектировании РРЛ.
9. Учет помех, возникающих внутри РРЛ.

Расчет уровней сигнала на интервалах РРЛ

При проектировании РРЛ в обязательном порядке рассчитываются:

1) средние мощности сигнала на входах приемников всех интервалов линии $P_{пр}$ (точнее, мощности при среднем значении градиента $g_{ср}$);
2) мощности сигнала на входах приемников, не превышаемые в течение 20% времени любого (наихудшего) месяца, $P_{пр}$ (20%).

Заложенный в аппаратуре запас на замирания сигнала:

$$10\lg\left(\frac{\overline{P_{пр}}}{P_{пр\ пор}}\right) = -V_{пор}$$

$\overline{P_{пр}}$ - средняя мощность на входе приемника;

$P_{пр\ пор}$ - минимально допустимая мощность на входе приемника;

$V_{пор}$ - максимально допустимая величина полного множителя ослабления сигнала.

Средний уровень сигнала определяет также среднюю мощность шума в каналах РРЛ, которая является сдаточным параметром РРЛ при настройке линии и контрольным — в условиях эксплуатации.

$P_{пр}$ (20%) позволяет оценить допустимую величину мощности шума в каналах линии, характеризующую выполнение рекомендаций ITU-R. Для определения соответствия этой норме на реальных РРЛ требуются длительные измерения в разное время суток.

Средняя мощность на входе приемника данного интервала линии:

$$\overline{P_{пр}} = P_{0пр}\overline{V}^2$$

$$P_{0пр} = \frac{P_{пер}\eta_{пер}G_{пер}\eta_{пр}G_{пр}}{L_{св}}$$

$\overline{V}$ - значение множителя ослабления при средней рефракции ($g=g_{ср}$).

Мощность сигнала на входе приемника, не превышаемая в течение 20 % времени:

$$P_{пр}(20\%) = P_{0пр}V^2(20\%)$$

V(20%) - значение множителя ослабления, ниже которого его величина не опускается в течение 20% месяца.

На слабопересеченных интервалах РРЛ и пересеченных интервалах с относительно небольшими просветами в большинстве случаев значения V(20%) определяются статистикой замираний, обусловленной изменениями градиента g(20%). Для упрощения расчетов вместо значения g(20%) можно использовать градиент, превышаемый в течение 16% времени:

$$g(20\%) \approx g_{ср} + \sigma$$

σ - стандартное отклонение статистического распределения значений g, определяемое по таблицам.

На пересеченных трассах с большими просветами значения V(20%) определяются в основном статистикой замираний, обусловленных влиянием волн, отраженных от подстилающей поверхности и неоднородностей тропосферы. В этом случае значения V(20%) определяются по усредненным экспериментальным данным.

Значения V(20%) в децибелах

R_0, км	2 ГГц	4 – 6 ГГц	8 – 11 ГГц
30	-1,2	-(1,5…2)	-(2…3)
40	-2	-(2,5…3)	-(3,2…4)
50	-3	-(3,5…4)	-(4,3…5)
60	-4	-(4,3…5)	

В сомнительных случаях целесообразно оценить V(20%) двумя способами: по градиенту g(20%) и по усредненным экспериментальным данным. При расчете $P_{пр}$(20%) учитывается наибольшее (по абсолютной величине) ослабление V(20%).

Замирания сигнала на интервалах РРЛ

Замирания сигнала возникают в отдельные моменты времени, когда значения множителя ослабления становятся **весьма малыми**.

<u>Возможные причины замираний:</u>

1) изменение во времени метеорологических условий на трассе РРЛ, приводящее к изменению вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха;
2) возникновение слоев в тропосфере с резким изменением диэлектрической проницаемости воздуха;
3) появление осадков.

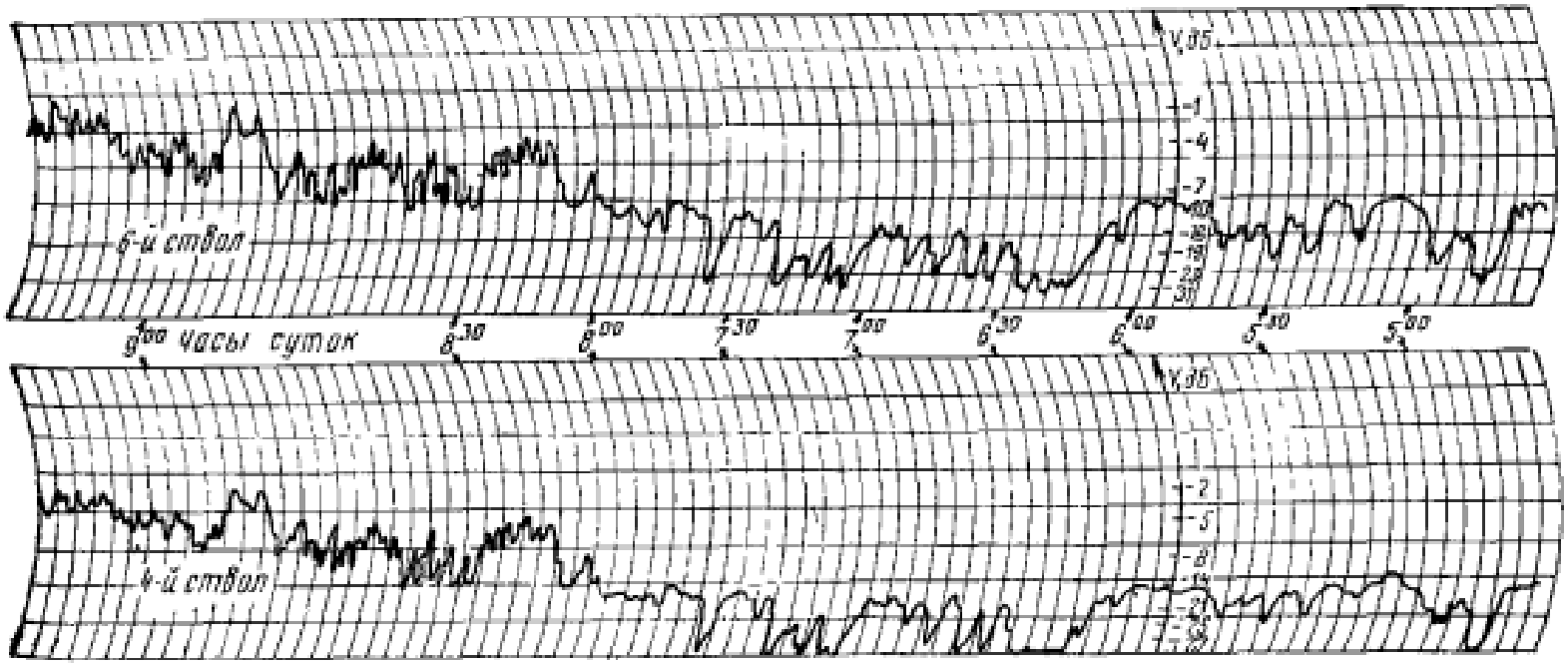
Глубина замираний обычно характеризуется мгновенным значением $|V|$ дБ. Наиболее глубокие замирания на интервалах РРЛ, обусловленные первыми двумя факторами, чаще всего отмечаются в вечерние, ночные и утренние часы летних месяцев, а в некоторых районах — в эти же часы весной или осенью. Наибольшее количество глубоких замираний наблюдается в морских, приморских и равнинных районах.

Типы замираний на интервалах РРЛ

- Рефракционные замирания из-за экранирующего влияния препятствий
- Рефракционные замирания интерференционного типа
- Замирания из-за влияния диаграмм направленности антенн
- Интерференционные замирания из-за отражений от слоистых неоднородностей тропосферы
- Замирания из-за экранирующего влияния слоистых неоднородностей тропосферы
- Замирания из-за ослабления сигнала в песчаных и пыльных бурях
- Замирания из-за поглощения в газах
- Замирания из-за ослабления сигнала гидрометеорами

Рефракционные замирания из-за экранирующего влияния препятствий

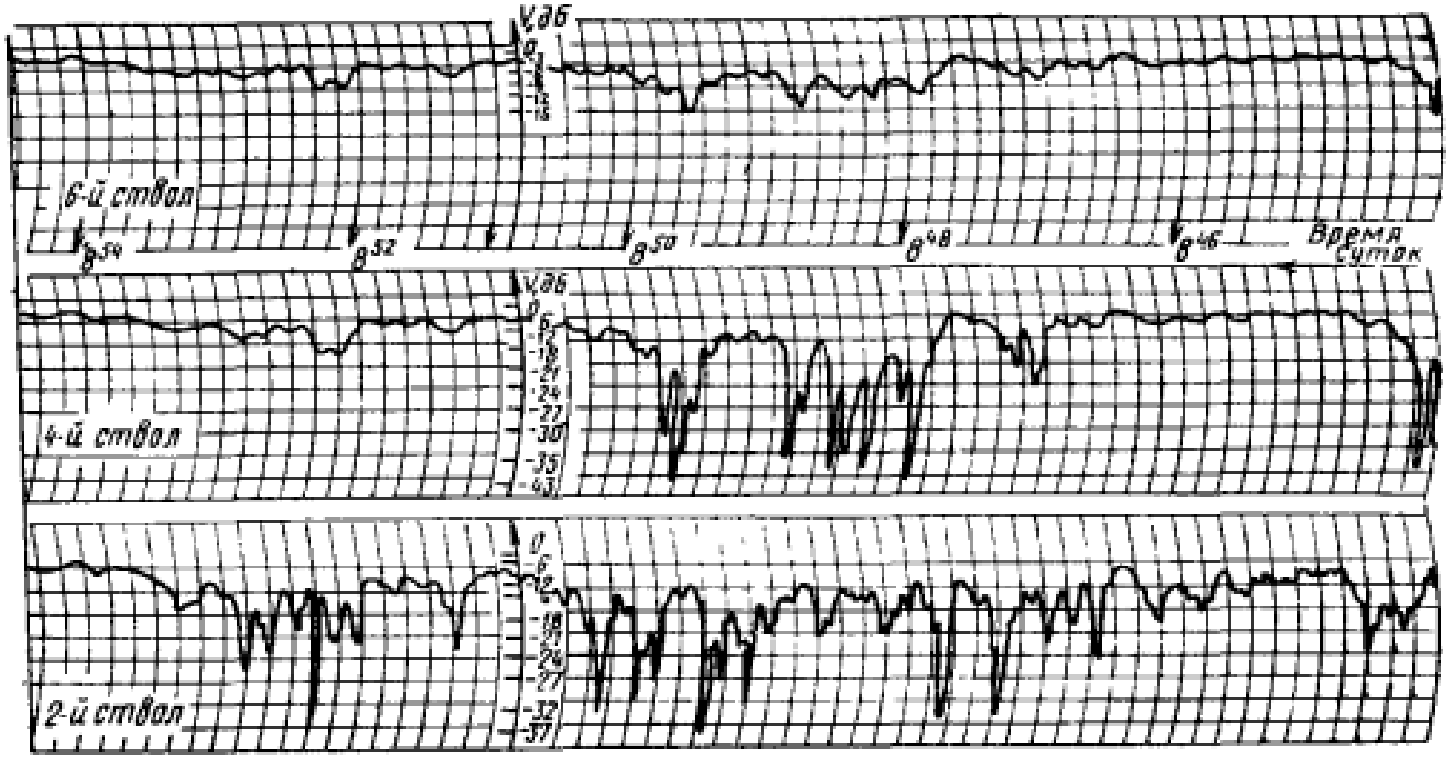
Эти замирания обусловлены уменьшением просвета на трассе при субрефракции (g>0) и попаданием приемной антенны в область глубокой тени при H(g)<<1. Такие замирания сравнительно медленные, имеют слабую частотную зависимость и происходят практически одновременно во всех стволах радиорелейной системы, работающей в одном частотном диапазоне.



Субрефракционные замирания. Сухопутная среднепересеченная, трасса на Украине: R_0=55 км, H = +6 м, f=3,7 ГГц. Частотный разнос между стволами ΔF=58 МГц

Рефракционные замирания интерференционного типа

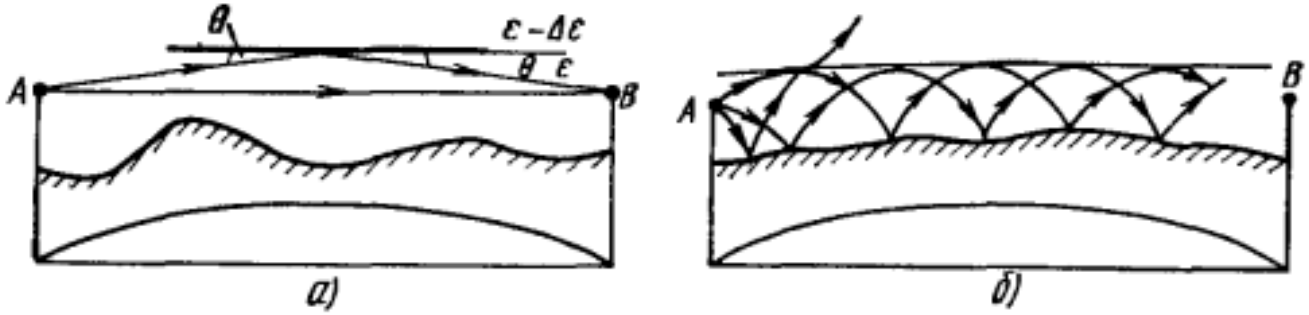
Обусловлены увеличением просвета на трассе при повышенной рефлекции ($g<-8\cdot10^{-8}$ 1/м) и попаданием приемной антенны в интерференционные минимумы, появляющиеся в результате взаимодействия прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности. Интерференционные замирания имеют быстрый характер, их средняя длительность при глубине порядка 35—25 дБ составляет секунды — десятки секунд. Они частотно-селективны. Глубокие замирания наблюдаются неодновременно в высокочастотных стволах радиорелейной системы.



Интерференционные замирания. Морская трасса: R_0=39 км, H = +43 м, f=3,7 ГГц. Частотный разнос между стволами ΔF=58 МГц

Интерференционные замирания (ИЗ) из-за отражений от слоистых неоднородностей тропосферы

Замирания этого типа обусловлены интерференцией прямой волны и волн, отраженных от слоистых неоднородностей тропосферы (а), и попаданием приемной антенны в интерференционные минимумы. К этому типу можно отнести также ИЗ из-за многолучевого распространения в тропосферных волноводах (б).

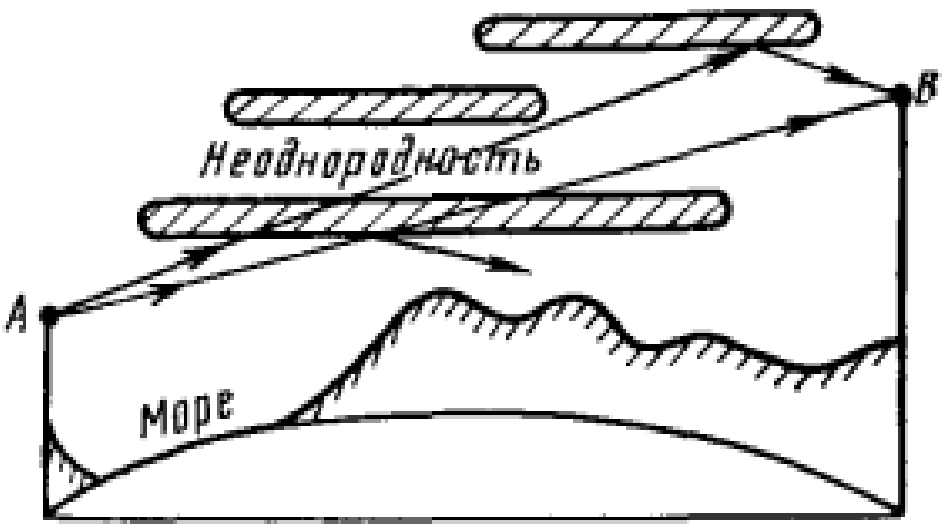


ИЗ аналогичны рефракционным замираниям интерференционного типа. Они частотно-селективны, в большинстве случаев носят самый быстрый характер, так как вследствие непрерывного изменения высоты отражающих слоев, их интенсивности и наклона меняются фазовые и амплитудные соотношения приходящих волн. При глубине 25—35 дБ средняя длительность замираний составляет секунды — доли секунд. Отличительной чертой замираний в тропосферных волноводах является то, что в большинстве случаев они наблюдаются при высоком среднем уровне сигнала $V_{ср}$>+6 дБ (V>2). По результатам экспериментов глубокие ИЗ из-за отражений от слоистых неоднородностей тропосферы на волнах длиннее 12 – 15 см на сухопутных интервалах РРЛ наблюдаются сравнительно редко. По мере укорочения длины волны количество таких замираний возрастает и во многих случаях они определяют суммарную продолжительность замираний. На морских трассах влияние слоистых неоднородностей тропосферы отмечается даже на метровых волнах.

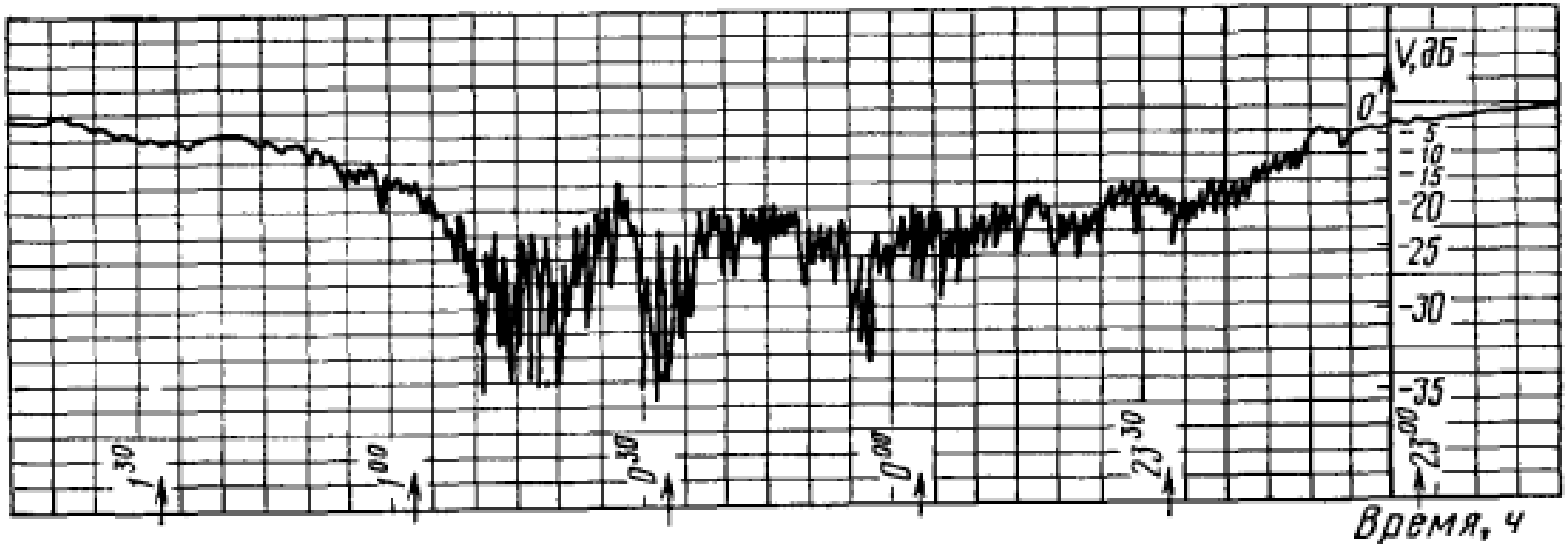
Замирания из-за экранирующего влияния слоистых неоднородностей тропосферы

Обусловлены ослаблением радиоволн при прохождении через слоистые неоднородности тропосферы, когда большая часть энергии отражается и лишь небольшая часть достигает точки приема.

Характер замираний специфичен: большие ослабления уровня сигнала даже на десятки децибел (10—30) могут отмечаться в течение длительного времени, доходящего до нескольких часов. Иногда они сопровождаются быстрыми флуктуациями сигнала относительно среднего уровня. По-видимому, такие флуктуации вызываются не только потерей энергии волны, но и дополнительной интерференцией прямой волны и волн, отраженных от других неоднородностей тропосферы.



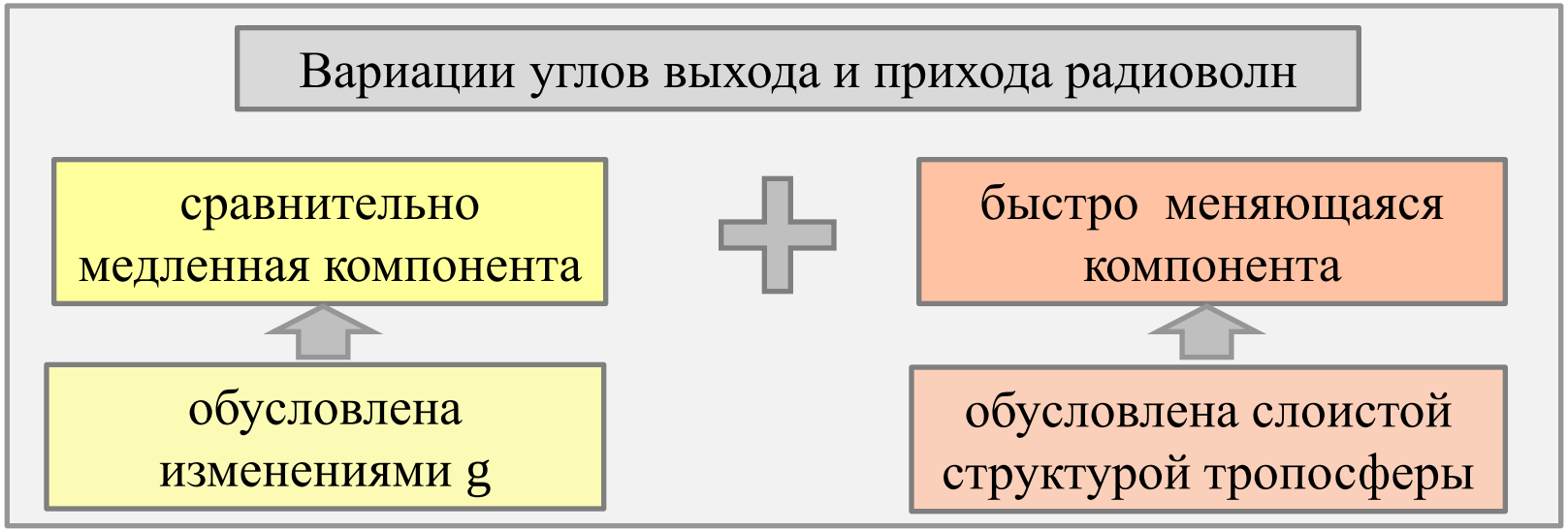
Замирания практически коррелированы в пределах одного частотного диапазона и наблюдаются одновременно во всех стволах радиорелейной системы. Их глубина увеличивается с увеличением протяженности интервала, перепада высот между приемной и передающей антеннами (по крайней мере, до 1°) и с укорочением длины волны. На интервалах РРЛ протяженностью 50—60 км такие замирания наблюдаются как правило, в морских районах, а на более протяженных трассах — также в горных районах. Этот тип замираний изучен сравнительно слабо.



Замирания из-за экранирующего влияния слоистых неоднородностей тропосферы Смешанная трасса (море, суша): R_0=61 км, H = +11 м, f=3,7 ГГц. Перепад высот между приемной и передающей антеннами 227 м. Отражение от подстилающей поверхности отсутствует

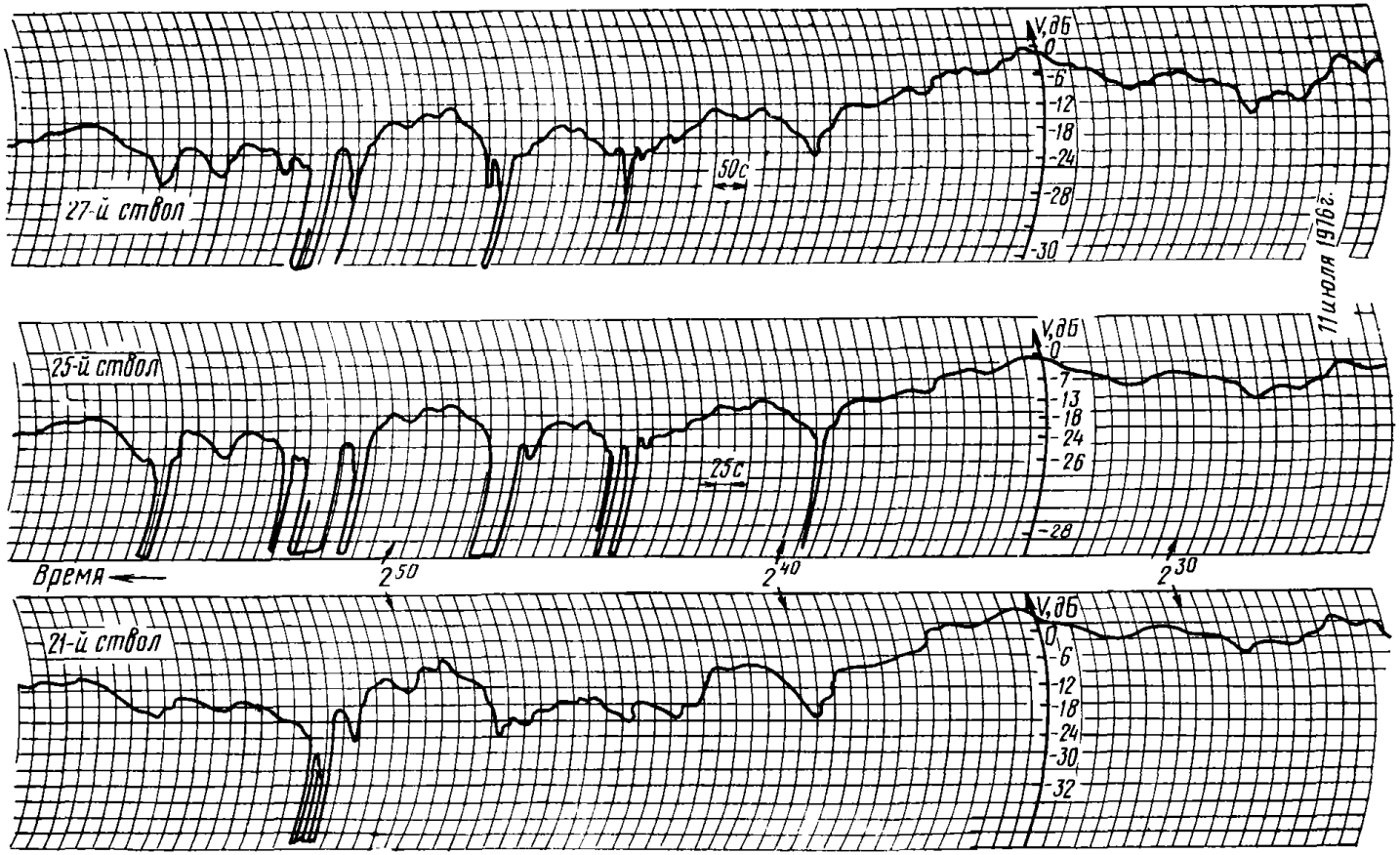
Замирания из-за влияния диаграмм направленности антенн

Обусловлены вариациями углов выхода и прихода радиоволн, вызванными случайными изменениями условий рефракции. Они существенны при достаточно узких диаграммах направленности антенн, так как по экспериментальным данным на интервалах РРЛ средней длины изменения углов в вертикальной плоскости не превышают ±0,5°, в горизонтальной плоскости вариации углов прихода примерно в 4—5 раз меньше, исключение составляют интервалы РРЛ на границах раздела сред (суша —море и т. д.).



В реальных условиях влияние углов прихода может усугубляться из-за неточности юстировки остронаправленных антенн, а также тепловой и ветровой деформативности антенных опор. На практике влияние ДН антенн в наихудшие месяцы становится существенным при коэффициентах усиления порядка 45 дБ (ширина диаграммы по половинной мощности ~0 9°— 0,8°, т.е. ± (0,45°—0,4°)).

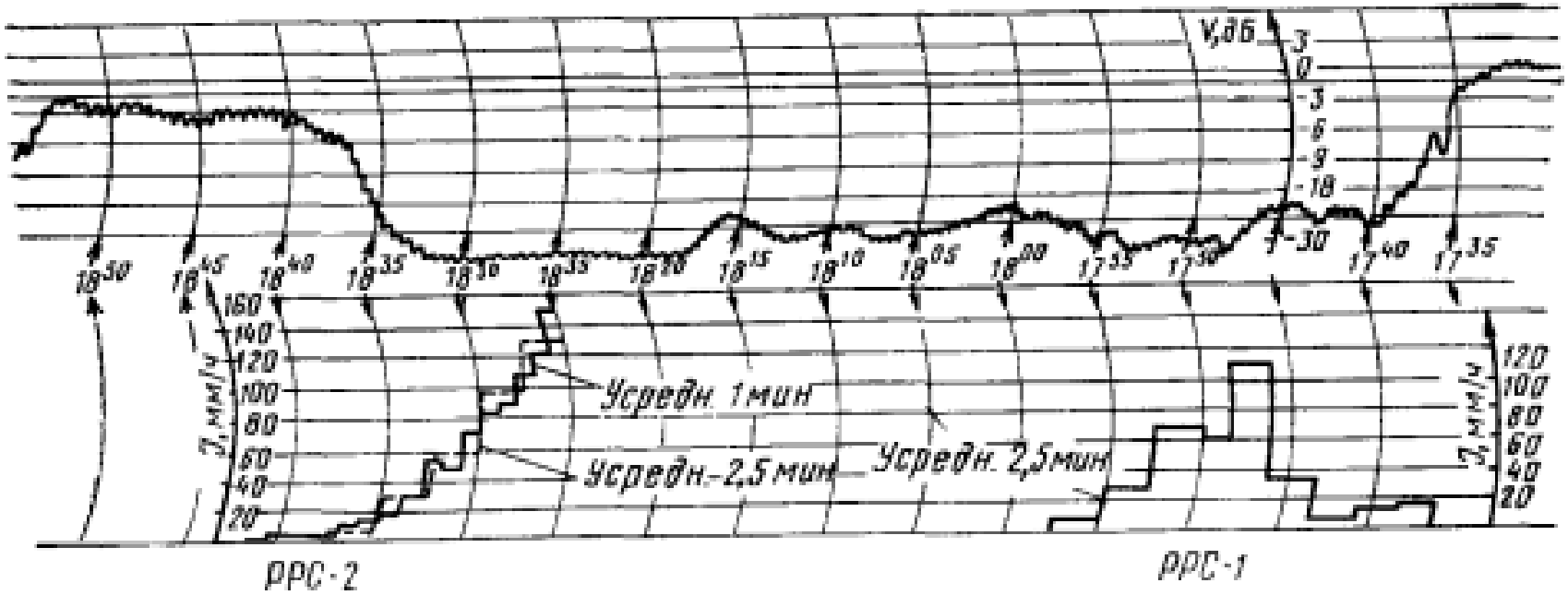
Характер замираний специфичен: на пересеченных открытых интервалах РРЛ при применении перископических антенн с номинальным усилением 45 дБ и высоте антенных опор 60 – 100 м могут наблюдаться медленно меняющиеся ослабления среднего уровня сигнала до - (10 – 20) дБ, которые могут сохраняться до нескольких часов. Эти замирания частотно-коррелированы, наблюдаются в основном одновременно во всех стволах РРС. Они эквивалентны «потере усиления» антенн в отдельные периоды времени.



Среднепересеченная, трасса , покрытая лесом ($G_{пер}$=$G_{пр}$=45 дБ): R_0=51 км, H = +42 м, f=8 ГГц. Частотный разнос между стволами ΔF=56 МГц

Замирания из-за ослабления сигнала гидрометеорами

Эти замирания вызваны ослаблением электромагнитной энергии вследствие рассеяния частицами гидрометеоров (дождь, туман, снег, град и т. д.) и нерезонансиого поглощения ее в самих частицах. Рассеяние и поглощение зависят гидрометеоров (жидкие или твердые), размеров капельных образований, интенсивности осадков, их температуры, длины волны сигнала. Эти замирания медленные, частотно-коррелированные и наблюдаются одновременно во всех стволах радиорелейной системы, работающей в одном частотном диапазоне.



Среднепересеченная, трасса , покрытая лесом : R_0=35,5 км, H = +66 м, f=12,3 ГГц