

# ВЕСТНИК НАУКИ

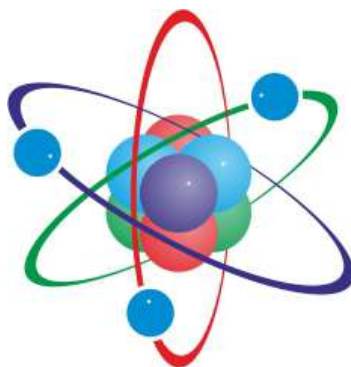
Сборник научных статей по материалам  
Международной научно-практической конференции

**FUNDAMENTAL SCIENCE  
INNOVATION AND TECHNOLOGY**



Издательство «НИЦ Вестник науки»

К-379-3



# FUNDAMENTAL SCIENCE INNOVATION AND TECHNOLOGY

Сборник научных статей по материалам  
II Международной научно-практической конференции

**Часть 1**

23 мая 2023 г.

Уфа 2023

**УДК 001  
ББК 72  
Ф 97**

**Ф 97      Fundamental science innovation and technology /  
Сборник научных статей по материалам  
II Международной научно-практической конференции  
(23 мая 2023 г., г. Уфа). / В 3 ч. Ч.1 – Уфа: Изд. НИЦ  
Вестник науки, 2023. – 280 с.**

В сборнике представлены материалы II Международной научно-практической конференции «Fundamental science innovation and technology», где нашли свое отражение доклады студентов, магистрантов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников ВУЗов по химическим, техническим, экономическим, филологическим, медицинским и другим наукам. Материалы сборника актуальны для всех интересующихся перспективными и инновационными направлениям развития науки и техники и могут быть применены при выполнении научно-исследовательских работ, а также в преподавании соответствующих дисциплин.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за интерпретацию и изложение результатов научно-исследовательских работ, подбор и точность приведенных статистических данных, фактов, цитат, подлежащих открытой публикации.

Материалы размещены в сборнике в авторской правке.

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

**УДК 001  
ББК 72**

© Корректурa и верстка ООО «НИЦ Вестник науки», 2023  
© Коллектив авторов, 2023

УДК 621.396.4

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

**Абдыбек кызы Айкерим,**  
ст. преп. кафедры сети связи и системы коммуникации,  
КРСУ им. Б. Ельцина

**Аннотация:** Основной целью проектирования систем является обеспечение соответствия характеристик радиорелейной линии поставленным требованиям. В рамках данной статьи главное внимание обращается помехам в РРЛ различного происхождения. К ним относят космические и атмосферные шумы, промышленные помехи и сигналы от других радиосистем. Также рассмотрены принципы расчета помех для цифровых сетей. Уделено внимание выбору антенн.

**Ключевые слова:** радиорелейные линии связи, проектирование систем, антенны, помехи, цифровые сети

Сегодня радиорелейные линии (РРЛ) отлично зарекомендовали себя в обеспечении связью удаленные районы с низкой инфраструктурой. Радиорелейные линии связи находят широкое применение в различных отраслях промышленности. В общем случае беспроводные каналы заменяют проводные сети многоканальной телефонной связи. Лидером по протяженности радиорелейных линий связи остается Кыргызстан. Использование РРЛ обусловлено преобладанием горного рельефа на всей территории Республики. РРЛ активно используется провайдерами интернета, сотовыми операторами. Известно применение радиорелейных каналов для организации корпоративной связи. Срок службы оборудования достигает 30 лет с учетом того, что комплексы могут работать даже в суровых условиях климата. Основными компонентами, обеспечивающими передачу сигналов на большие расстояния, являются радиорелейные линии прямой видимости. В их задачу входит обеспечение устойчивой связи при передаче до потребителя сообщений в цифровом формате, телевидения и звуковых эфиров [1].

Проектирование систем включает определение всех основных параметров радиорелейной системы передачи. Сюда относятся конфигурация системы, пропускная способность, технические характеристики и диапазон частот. Целью проектирования системы является получение надежных систем передачи данных, которые удовлетворяли бы международным требованиям по вероятности ошибок и коэффициенту готовности. Понимание этих целей проектирования, также как и овладение моделями предсказания этих характеристик очень важно для проектировщика систем. Необходимо уметь оценивать характеристики системы и коэффициент ее неготовности, вызванные явлениями распространения радиоволн, осадками, помехами и отказами аппаратуры.

Практический опыт показывает, что готовность всей системы часто ограничивается не надежностью радиорелейного оборудования, а другими факторами. Неготовность, вызванная проблемами эксплуатации, отказами системы питания и т.д. часто является определяющей в общем коэффициенте неготовности системы, особенно в малонаселенных местностях.

На передачу сигналов по РРЛ, как и во всех радиосистемах, влияют помехи различного происхождения. К ним относят космические и атмосферные шумы, промышленные помехи и сигналы от других радиосистем. Уровень этих помех обычно удается свести к минимуму с помощью тех или иных организационных мер (соответствующий выбор частот, фильтрация мешающих радиосигналов, правильное размещение станций и тому подобное).

На рисунке 1 приведены типичные примеры нежелательного влияния друг на друга радиоканалов, работающих на одном и том же диапазоне частот. Различные типы такого влияния определяются конфигурацией сети, препятствиями на поверхности земли, типом антенн и радиооборудования и т.д.

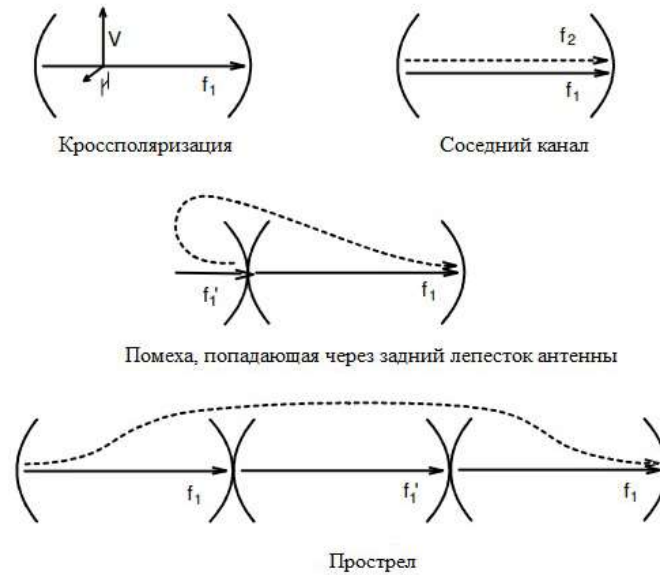


Рисунок 1 – Нежелательное влияние радиоканалов друг на друга

#### Кросс-поляризация

Подавление нежелательного сигнала при работе на ортогональной поляризации часто называется кросс-поляризационным подавлением антенны. Деполяризация в атмосфере, вызванная отражением или искривлением луча, может увеличить уровень кросс-поляризационной помехи.

#### Соседний канал

Уровень этих помех определяется избирательностью приемника, каналными фильтрами и шириной полосы передаваемого спектра частот. Для уменьшения уровня этих помех часто используется противоположная поляризация.

#### Прием сзади

Уровень помех в основном является функцией защитного отношения антенны.

#### Прострел

Если пролеты ориентированы так, как показано на рисунке 1, критической является помеха, вызванная прострелом. Здесь рекомендуется использовать другую поляризацию или изменение частоты радиоканала [2].

### Принципы расчета для цифровых сетей

Каналы с разносом частот  $\geq \delta$  должны быть исключены из расчета помех, поскольку они устраняются фильтрами в приемнике.

Обычно используются два различных способа учета влияния мешающего сигнала при расчете характеристик системы:

- расчет уровня помехи начинается с входа приемника, испытывающего воздействие помехи (деградация порогового уровня),
- расчет начинается с определения допустимого уровня помех на входе приемника, испытывающего воздействие помехи, и сравнение его с уровнем мешающего сигнала.

В рамках данной статьи рассмотрим первый метод. Расчет помех включает расчет уровня помех и определение деградации порогового уровня приемника. Для иллюстрации процедуры расчета используется упрощенная конфигурация радиосети, представленная на рисунке 2.

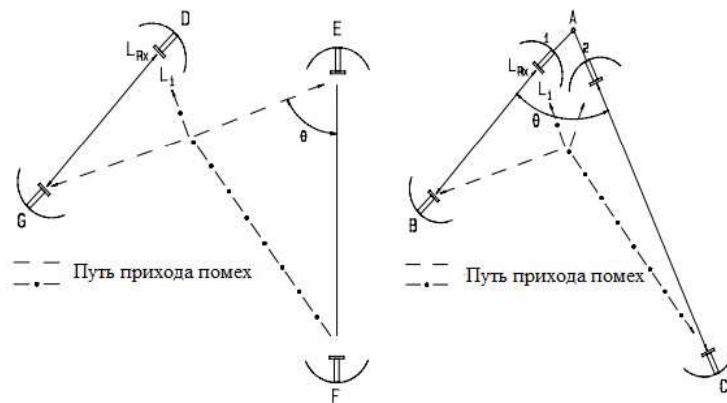


Рисунок 2 – Прямоугольная сеть и треугольная сеть

Для иллюстрации принципов расчета используется рисунок 2. Пролет А-В является пролетом, на который воздействует помеха, полет А-С является источником помехи.

Входной уровень в точке А1 (или в точке В) при отсутствии замираний равен  $L_{Rx}$ . Пороговый уровень приемника (BER  $10^{-3}$ ) при отсутствии помех равен  $L_{Te}$ . На рисунке 3 представлен пороговый уровень приемника как функция уровня помехи. Для данного частного случая  $L_{Te} = -73$  дБм. Мешающий сигнал С → А1 с уровнем  $L_I$  поступает на вход приемника А1 через антенну А1. Если имеется несколько источников помех,  $L_I$  является суммой индивидуальных уровней  $L_{Ii}$  :

$$L_I = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ii}-A_j)/10} \quad (1)$$

где  $L_I$ - общий уровень всех мешающих сигналов в дБм;

$L_{Ii}$  – уровень индивидуального мешающего сигнала в дБм;

$A_j$  – ослабление мешающего сигнала по соседнему каналу в дБ в приемнике.

По графику на рисунке 3 можно найти деградированный пороговый уровень приемника  $L_{Tel}$  соответствующую уровню мешающего сигнала. Приближенно деградированный пороговый уровень можно найти по формуле:

$$L_{Tel} \approx L_{Te} + 10 \log (1 + 10^{((-L_{Te}+C_R+L_I)/10)}) \quad (2)$$

где  $C_R$  – числовая постоянная, характеризующая способность приемника противостоять мешающему сигналу (нормализованное отношение сигнал/помеха).

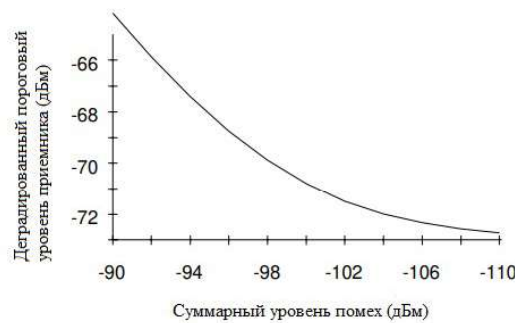


Рисунок 3 – Деградированный пороговый уровень приемника как функция суммарного уровня помех

Пусть суммарный уровень помех равен -100 дБм. Используя рисунок 3, можно определить, что деградированный пороговый уровень приемника равен -71 дБм. Иначе говоря, деградация уровня составила 2 дБ. Этот новый пороговый уровень должен быть включен в расчет характеристик системы. Деградация порогового уровня приемника (и, следовательно, запас на замирание в системе), вызванная воздействием мешающего сигнала, означает, что предсказание характеристик и готовности не могут быть окончательно определены, пока не исследована деградация [2-3].

Подход, состоящий в задании уровня входного сигнала, имеет некоторые недостатки: Если радиорелейная система уже существует и работает в определенном диапазоне и в определенном географическом районе, предсказание характеристик ошибок и готовности может быть сделано, если известны все данные, касающиеся системы.

Характеристики качества и готовности каждой новой радиорелейной линии подвержены влиянию уже существующих систем. Чтобы избежать деградации характеристик и готовности новой радиорелейной линии ниже определенного значения из-за влияния уже существующих систем, может стать необходимым ужесточение требований к новым антеннам по подавлению мешающих сигналов. Для каждого дополнительного пролета требования будут более жесткими, иначе необходимо занимать новые частоты.

При уровне помехи больше, чем пороговый уровень  $L_{Te}$  в отсутствии помех (отношение сигнал/помеха =  $\infty$ ), вход приемника может быть заблокирован помехой в том случае, если отказал передатчик на противоположном конце линии. Это может привести к появлению недопустимого телефонного разговора или потока данных, а в случае частотного разнесения – может препятствовать переключению на резервный канал.

Первые два недостатка можно преодолеть, увеличив запас на замирание на первом пролете сети, чтобы создать запас на будущую деградацию характеристик.

Избежать блокирования приемника сигналом помехи можно учетом уровня помех:

$$L_{li} < L_{Tel} [S/I = \infty] \quad (3)$$

Если при расчете помех начинать с допустимой деградации порогового уровня приемника, влияние помех на характеристики вероятности ошибок и на готовность можно учесть уже на этапе планирования системы. Однако действительный уровень помех всегда отличается от расчетного планируемого уровня. Характеристики системы и готовность в этом случае должны корректироваться с учетом реального ухудшения  $L_{Te}$ .

На радиорелейных линиях, использующих узловые станции, подавление мешающих сигналов достигается применением антенн с определенным уровнем защитного отношения и боковых лепестков. Фактически, это единственный параметр, который обеспечивает такое подавление.

Мешающий сигнал, приходящий от передатчика в точке A1 (рис. 4) на вход приемника C, ослабляется только антенной A1. Это позволяет выбрать тип антенны с необходимым подавлением. Формулы 4 – 7 определяют необходимое подавление антенны.

#### **Узловые станции мешают промежуточным станциям**

Рассмотрим рисунок 4:

$$T_{XA1} \rightarrow R_{XC} \\ D_A = L_{Tel} + M_{FI} + L_{li} + \Delta G + \Delta L_{Tx} \quad (4)$$

где  $D_A$  – подавление антенны в дБ;

$\Delta G$  – разность усиления [дБ] двух антенн в узловой точке;

$\Delta L_{Tx}$  – разность выходных уровней [дБм] полезного и мешающего сигналов;

$M_{FI}$  – запас на плоское замирание в дБ при наличии;

$L_{li}$  – индивидуального мешающего сигнала с уровнем...дБм;

$L_{Tel}$  – порогового уровня приемника в дБм при наличии уровня суммарных помех  $L_I$  (суммарный уровень всех мешающих сигналов).

#### **Промежуточные станции мешают узловой станции**

$$R_{XC} \rightarrow T_{XA1} \\ D_A = L_{Tel} + M_{FI} - L_{li} + \Delta G + \Delta L_{Rx} \quad (5)$$

где  $\Delta L_{Rx}$  – разность в дБ между уровнями входных сигналов на станциях в узловой точке

Оптимальные условия

Оптимальные условия подавления  $D_A$  достигаются, если

$$\Delta G = \Delta L_{Rx} = \Delta L_{Tx} = 0 \quad (6)$$

Иначе говоря, в это случае все антенны в узловой точке должны иметь одинаковое усиление, а сеть планируется так, чтобы в узловой точке передатчики имели одинаковый выходной уровень, а приемники имели одинаковый входной уровень.

Формулы 4 и 5 могут быть записаны в следующем виде:

$$D_A = L_{Tel} + M_{FI} - L_{Fi} \quad (7)$$

Не следует планировать более высокий запас на замирание, чем требуется для получения необходимых характеристик (для снижения стоимости антенн). Эти положения не являются абсолютно корректными, если рассматриваемые пролеты имеют существенно различную длину. Входной уровень сигнала приемника на более длинных пролетах должен быть выше, чем уровень любого другого входного сигнала. Система должна быть ориентирована так, чтобы минимизировать вероятность отказа на пролетах.

Затухание между антеннами на одной и той же башне

Обычно наиболее критичной является связь между рупорами облучателей антенн. Чтобы упростить проблему, при расчетах будет учтена только эта связь. Если расстояние между рупорами более двенадцати длин волн, можно использовать формулу затухания сигнала в свободном пространстве:

$$A_F = 32.45 + 20 \cdot \log(f \cdot d_F) \quad (8)$$

где  $A_F$  – затухание сигнала в дБ между антеннами, установленными на одной и той же башне;

$f$  – частота сигнала в ГГц;

$d_F$  – расстояние между антеннами в м,  $d_F \geq \lambda$ ;

$\lambda$  – длина волны в м.

Эта формула применима для всех нормально установленных антенн на частотах выше 2 ГГц. Заметим, что затухание в формуле (8) не зависит от относительного подавления антенн (защитного отношения и т.д.). Точное значение затухания должно определяться измерением на конкретных типах антенн. Если требуется более высокое значение затухания, необходимо учитывать тип и размер зеркала, тип облучателя и разность высот подвеса антенн. Диаграммы направленности стандартных антенн действительны лишь в дальней

зоне и не применимы в случае антенн, установленных на одной башне [2-4].



Рисунок 4 – Затухание между антеннами, установленными на одной башне. Упрощенная схема радиорелейной линии (треугольная конфигурация)

### Список литературы

[1] [www.asvagroup.com](http://www.asvagroup.com) – Телекоммуникационная компания «АСВА». Радиорелейные линии связи – особенности, применение [Электронный ресурс] – URL: <https://asvagroup.com/2018/09/radioreleynnye-linii-svyazi-osobennosti-primenenie/> (дата обращения: 05.05.2025)

[2] Ingvar Henne, Per Thorvaldsen, Planning of line-of-sight radio relay systems. Second edition. Nera 1999.

[3] [www.bibliofond.ru](http://www.bibliofond.ru) – электронная библиотека. Проектирование радиорелейной линии связи [Электронный ресурс] – URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=669301> (дата обращения: 05.05.2025)

[4] [www.studmed.ru](http://www.studmed.ru) – образовательный ресурс. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости [Электронный ресурс] – URL: <https://www.studmed.ru/kurovoy-proekt-proektirovanie->