

Основы построения инфокоммуникационны х систем и сетей

Шевцов Вячеслав Алексеевич
д.т.н., профессор

Москва 2018

Физические основы организации сетей электросвязи

Лекция 3

- Мера информации
- Распределение частотного диапазона,
- Энергетические характеристики каналов связи.

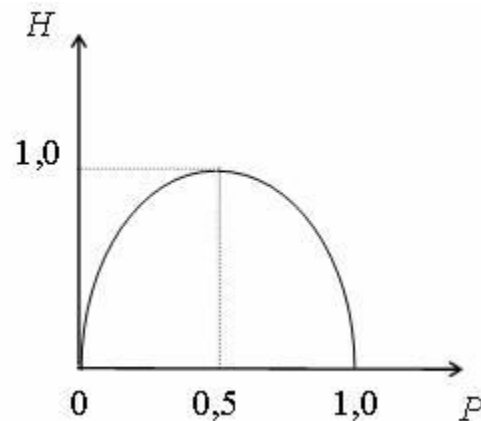
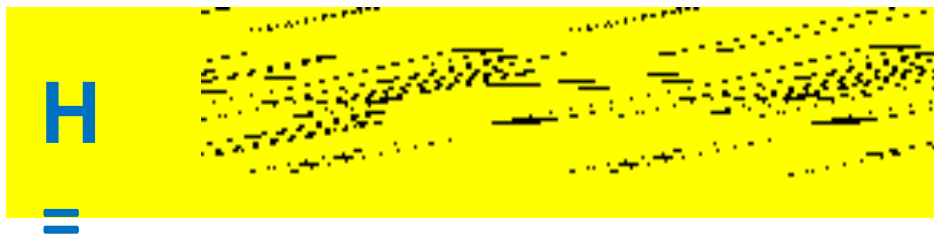
Мера информации

По Хартли мера неопределенности опыта с n равновероятными исходами можно принять число $\log(n)$. (структурная мера): **Единица измерения неопределенности при двух возможных исходах опыта называется БИТ**

$$I = \log_2 n$$

Мера информации

По Шеннону (статистическая мера): удельная информативность или энтропия



Мера Шеннона является обобщением меры Хартли на случай ансамбля с неравновероятными состояниями.

Позволяет учесть статистические свойства источника информации

Понятия термодинамической и информационной энтропии вводятся в рамках различных формализмов, но имеют общий *физический смысл* — *логарифм числа доступных микросостояний системы*.

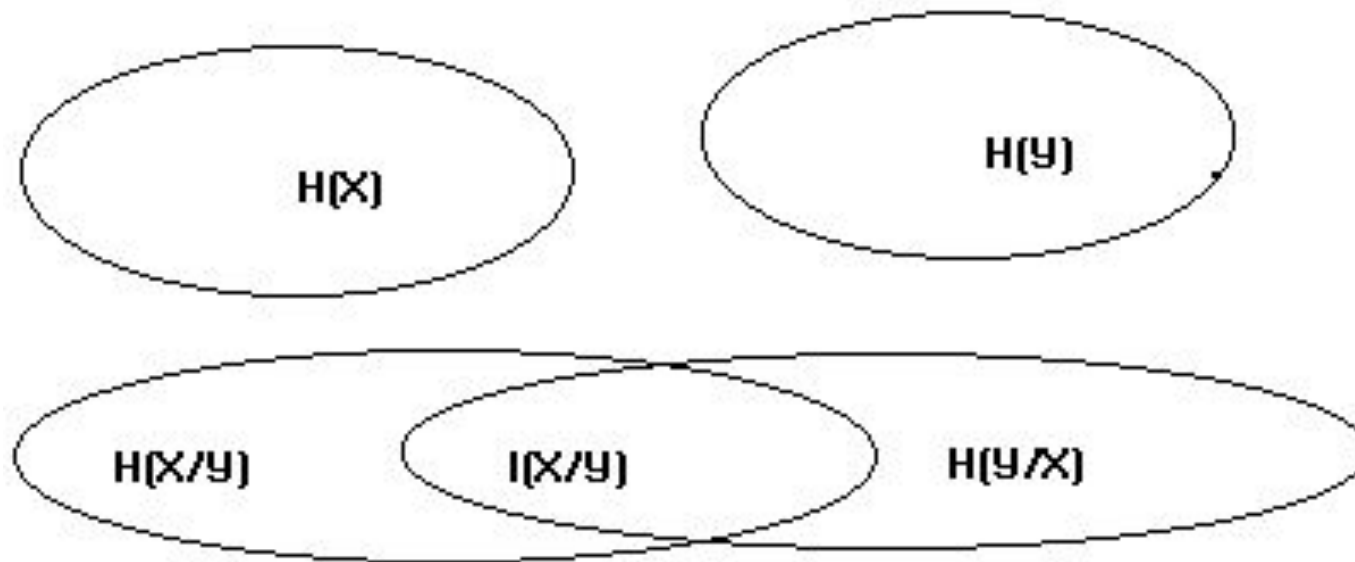
В неравновесных процессах энтропия также служит мерой близости состояния системы к равновесному: чем больше энтропия, тем ближе система к равновесию (в состоянии термодинамического равновесия энтропия системы максимальна).

В широком смысле, энтропия означает меру сложности, хаотичности или неопределённости системы: чем меньше элементы системы подчинены какому-либо порядку, тем выше энтропия.

Мера информации

Взаимная информация

$$I(x, y) = H(x) - H(x, y)$$



Мера

Семантические меры информации

смысл, содержание, целесообразность, существенность ...

Ценность информации

по Бонгарду и Харкевичу равна:

$$V = \log_2 P_1 / P_0$$

P_0 - вероятность достижения цели до получения информации;

P_1 - вероятность достижения после получения информации;

Априорная вероятность P_0 зависит от информационной тары, от полного количества информации I , определяемого по формуле : $P_0 = 2^{-I}$.

Так если все варианты равновероятны то $P_0 = 1/n$; $I = \log_2 n$;

Апостериорную вероятность P_1 может быть меньше P_0 ; Это – дезинформация.

При изменении апостериорной вероятности P_1 в пределах $0 < P_1 < 1$, ценность информации по Бонгарду и Харкевичу изменяется в пределах $-\infty < V < V_{\max}$;

Ценность информации по Корогодину :

$$V = (P_1 - P_0) / (1 - P_0) ;$$

Изменяется в пределах $0 \leq V \leq 1$.

Первая теорема

Шеннона

При отсутствии помех передачи всегда возможен такой вариант кодирования сообщения, при котором среднее число знаков кода, приходящихся на один знак кодируемого алфавита, будет сколь угодно близко к отношению средних информаций на знак первичного и вторичного алфавитов.

Используя понятие избыточности кода, можно дать более короткую формулировку теоремы:

При отсутствии помех передачи всегда возможен такой вариант кодирования сообщения, при котором избыточность кода будет сколь угодно близкой к нулю.

При отсутствии помех передачи средняя длина двоичного кода может быть сколь угодно близкой к средней информации, приходящейся на знак первичного алфавита.

возможность создания системы эффективного [кодирования](#) дискретных сообщений, у которой среднее число двоичных символов на один символ сообщения асимптотически стремится к [информационной энтропии](#) источника сообщений (при отсутствии помех).

Вторая теорема

Шеннона

При наличии помех в канале всегда можно найти такую систему кодирования, при которой сообщения будут переданы с заданной достоверностью.

При наличии ограничения пропускная способность канала должна превышать производительность источника сообщений.

Вторая теорема Шеннона устанавливает принципы помехоустойчивого кодирования:

Для дискретного канала с помехами теорема утверждает, что, если скорость создания сообщений меньше или равна пропускной способности канала, то существует код, обеспечивающий передачу со сколь угодно малой частотой ошибок.

$$C = 2 F \log_2 k$$

C – пропускная способность канала (бит/сек),

F – полоса пропускания радиолинии (Гц),

$k \leq 1+A$; A – отношение сигнал/помеха

$$\Delta t \geq \frac{1}{2F_c} \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{2F_c};$$

Следствие – теорема Котельникова

Законодательство

Федеральный закон "О связи"

от 07.07.2003 N 126-ФЗ (ред. от 03.08.2018)

Статья 24. Выделение полос радиочастот и присвоение (назначение) радиочастот или радиочастотных каналов

- Право на использование радиочастотного спектра предоставляется посредством выделения полос радиочастот и (или) присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов.
- Использование радиочастотного спектра без соответствующего разрешения не допускается, если иное не предусмотрено настоящим Федеральным законом.

Частотные диапазоны

По регламенту [международного союза электросвязи](#) радиоволны разделены на диапазоны от $0.3 \cdot 10^N$ Гц до $3 \cdot 10^N$ Гц, где N — номер диапазона. Российский ГОСТ 24375-80 почти полностью повторяет эту классификацию.

Обозн-е МСЭ	Длины волн	Название волн	Диапазон частот	Название частот	Применение
ELF	100 Мм — 10 Мм	Декамегаметровые	3—30 Гц	Крайне низкие (КНЧ)	Связь с подводными лодками, геофизические исследования
SLF	10 Мм — 1 Мм	Мегаметровые	30—300 Гц	Сверхнизкие (СНЧ)	Связь с подводными лодками, геофизические исследования
ULF	1000 км — 100 км	Гектокилометровые	300—3000 Гц	Инфранизкие (ИНЧ)	Связь с подводными лодками
VLF	100 км — 10 км	Мириаметровые	3—30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)	Служба точного времени, радиосвязь с подводными лодками
LF	10 км — 1 км	Километровые	30—300 кГц	Низкие (НЧ)	Радиовещание, радиосвязь земной волной, навигация
MF	1000 м — 100 м	Гектометровые	300—3000 кГц	Средние (СЧ)	Радиовещание и радиосвязь земной волной и ионосферная

Частотные диапазоны

NF	100 м — 10 м	Декаметровые	3—30 МГц	Высокие (ВЧ)	Радиовещание и радиосвязь ионосферная,загоризонтная радиолокация,рации
VHF	10 м — 1 м	Метровые волны	30—300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	Телевидение, радиовещание, радиосвязь тропосферная и прямой волной, рации
UHF	1000 мм — 100 мм	Дециметровые	300—3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)	Телевидение, радиосвязь тропосферная и прямой волной,мобильные телефоны, рации,УВЧ-терапия, микроволновые печи, спутниковая навигация.
SHF	100 мм — 10 мм	Сантиметровые	3—30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)	Радиолокация,интернет,спутниковое телевидение,спутниковая- и радиосвязь прямой волной,беспроводные компьютерные сети.
EHF	10 мм — 1 мм	Миллиметровые	30—300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ)	Радиоастрономия, высокоскоростнаярадиорелейная связь, радиолокация(метеорологическая, управление вооружением),медицина, спутниковая радиосвязь.
THF	1 мм — 0,1 мм	Децимиллиметровые	300—3000 ГГц	Гипервысокие частоты, длинноволновая областьинфракрасног о излучения	Экспериментальная «терагерцовая камера», регистрирующая изображение в длинноволновом ИК (которое излучается теплокровными организмами, но, в отличие от более коротковолнового ИК, не задерживается диэлектрическими материалами).

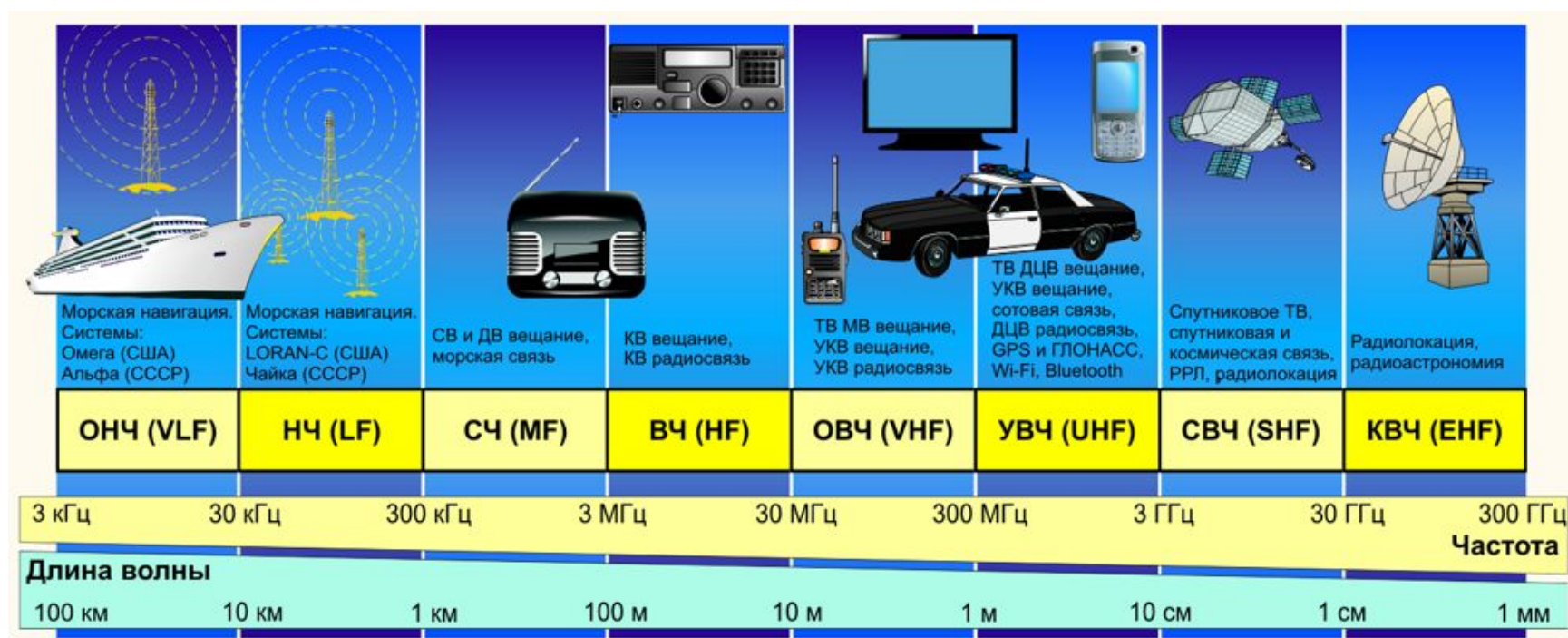
Свойства диапазонов частот

- **Мириаметровые волны** проникают в глубь почвы и воды, огибают Землю, отражаются от ионосферы днем и ночью, огибают, не отражаясь, обычные объекты.
- **Километровые волны** поглощаются в Земле и частично огибают ее, отражаются от ионосферы ночью, огибают, не отражаясь, обычные объекты.
- **Гектометровые волны** поглощаются в Земле, интенсивно отражаются от ионосферы ночью, огибают, не отражаясь, обычные объекты.
- **Декаметровые волны** сильно поглощаются в Земле, избирательно отражаются от ионосферы, слабо отражаются от обычных объектов.
- **Метровые волны** очень сильно поглощаются в Земле, не отражаются от ионосферы, распространяются в пределах прямой видимости, интенсивно отражаются от обычных объектов.
- **Дециметровые волны** распространяются только в пределах прямой видимости, интенсивно отражаются от обычных объектов. Легко достигается направленность излучения.
- **Сантиметровые волны** распространяются только в пределах прямой видимости, интенсивно отражаются от объектов. Легко достигается высокая направленность передачи и приема.
- **Миллиметровые волны** сильно поглощаются в атмосфере. Легко достигается очень высокая направленность излучения и приема.

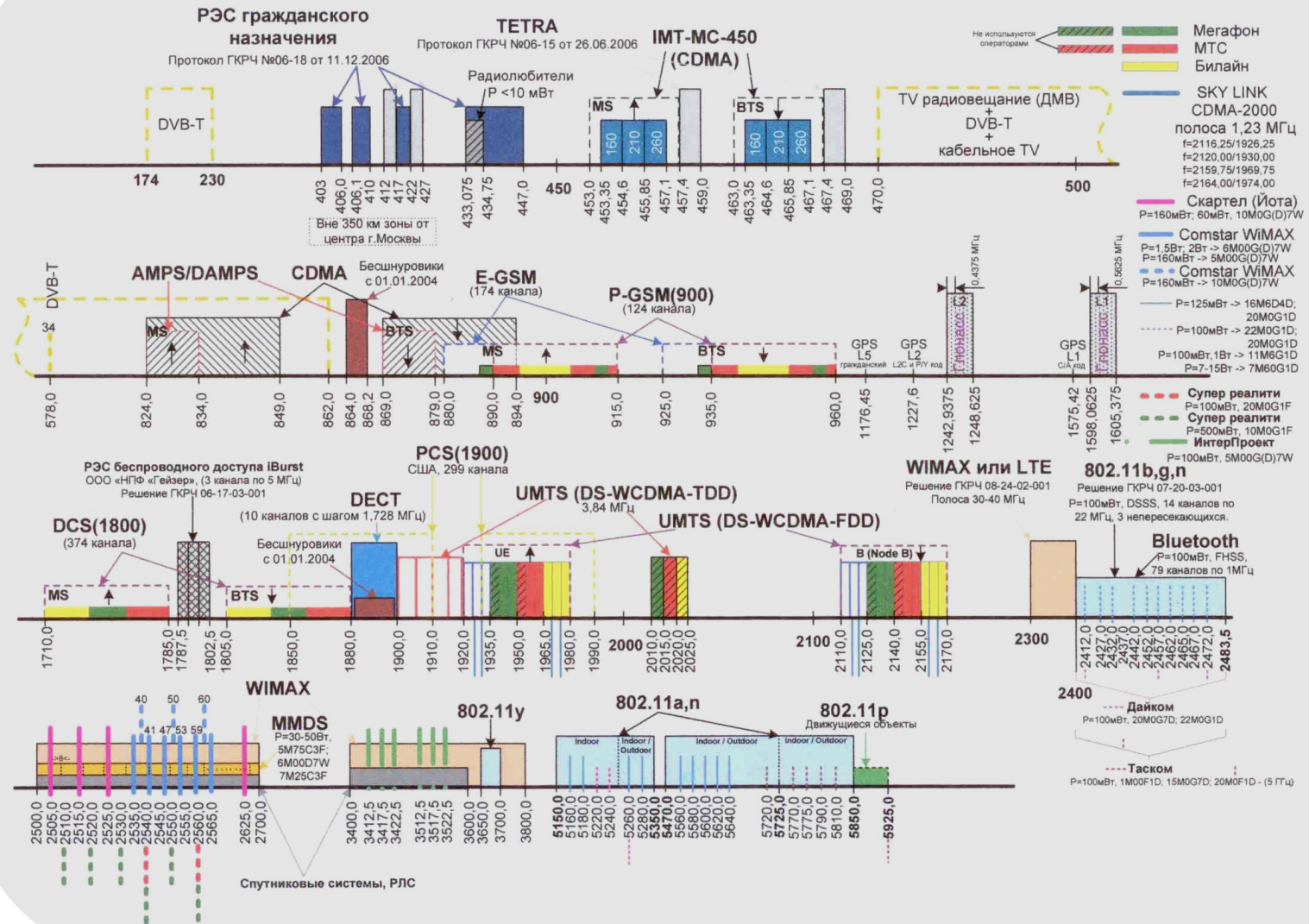
Диапазоны радиоволн, используемые в радиосвязи

Ранее принятые диапазоны длин волн		В соответствии с регламентом радиосвязи международного союза электросвязи (1975 г.)			
		Обоз- нач.	Длина волны, м	Наименование частот	Диапазоны частот
Длинные волны (ДВ)		LF	10000 - 1000 километровые	низкие	30 - 300 кГц
Средние волны (СВ)		MF	1000 - 100 гектометровые	средние	300 - 3000 кГц
Короткие волны (КВ)		HF	100 - 10 декаметровые	высокие	3 - 30 МГц
УКВ	Метровые волны (МВ)	VHF	10 - 1 метровые	очень высокие	30 - 300 МГц
	Дециметровые волны (ДЦВ)	UHF	1 - 0,1 дециметровые	ультра- высокие	300 – 3000 МГц
	Сантиметровые волны (СМВ)	SHF	0,1 - 0,01 сантиметровые	сверх- высокие	3 - 30 ГГц
	Миллиметровые волны (ММВ)	EHF (Extremely)	0,01 - 0,001 миллиметровые	крайне высокие	30 - 300 ГГц

Совмещение диапазонов с радиослужбами



Распределение частот между службами радиосвязи



Наименование диапазонов и полосы частот, используемых в радиолокации

- L – диапазон 1452-1550 МГц и 1610-1710 МГц
- S – диапазон 1930 – 2700 МГц
- C – диапазон 3400 -5250 МГц и 5725 – 7075 МГц
- X – диапазон 7250 – 8400 МГц
- Ku – диапазон 10,70 - 12,75 ГГц и 12,75 - 14,80 ГГц
- Ka – диапазон 15,40 - 26,50 ГГц и 27,00 - 30,20 ГГц
- K – диапазон 84,0 - 86,0 ГГц

Нелицензируемые диапазоны

26,957–27,283 МГц	10 мВт
40,660–40,700 МГц	10 мВт
433,075–434,79 МГц	10 мВт
864–865 МГц	25 мВт (Рабочий цикл 0,1%, или режим LBT*)
868,7–869,2 МГц	25 мВт
5725–5875 МГц	25 мВт (Рабочий цикл 0,1%, или режим LBT*)

Расчет энергетического потенциала радиолинии

$$P_{0\text{изотр}} = \frac{P_{\text{изл}}}{4\pi r^2}$$

Плотность потока мощности от изотропного излучателя через единичную площадку на расстоянии r

$$p_0 = \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}}}{4\pi r^2}$$

$$P_{\text{с}} = p_0 S_{\text{пр}}$$

$S_{\text{пр}} = (\lambda^2/4\pi) G_{\text{пр}}$, где под $G_{\text{пр}}$ понимается коэффициент усиления антенны, если бы она использовалась в качестве передающей.

$$S_{\text{пр}} = k_{\text{ин}} \pi d^2/4, \quad \text{Зеркальная антенна}$$

$$P_{\text{с}} \leq \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}} S_{\text{пр}}}{4\pi r^2 L} = \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}} G_{\text{пр}} \lambda^2}{(4\pi r)^2 L}$$

$$G_{\text{пр}} = 4\pi S_{\text{пр}}/\lambda^2$$

$$\frac{P_{\text{с}}}{N_0} = \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}} G_{\text{пр}} \lambda^2}{(4\pi r)^2 k T L}$$

$$h^2 = P_{\text{с}} \tau_0 / N_0 = P_{\text{с}} / N_0 R,$$

Отношение энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума определяет помехоустойчивость