

Основы построения инфокоммуникационны х систем и сетей

Шевцов Вячеслав Алексеевич
д.т.н., профессор

Москва 2018

Лекция № 1

- **роль и место инфокоммуникационных технологий в реализации Стратегии научно-технологического развития РФ.**
- **основные термины и определения,**
- **категории сетей,**
- **классификация сетей по виду каналов связи,**
- **классификация сетей по методу доступа,**

Революционные этапы в развитии промышленности

- I. Первая промышленная революция
- II. Вторая промышленная революция
- III. Третья промышленная революция
- IV. Четвертая промышленная революция

Первая промышленная революция

Конец XVII в – Начало XIX в.

- **Инновации и прорывы:**

Водяные и паровые двигатели, ткацкие станки, механические устройства, транспорт, металлургия

- **Результат:**

Переход от аграрной экономики к промышленному производству, развитие транспорта

Вторая промышленная революция

Вторая половина XIX в – начало XX в

- **Инновации и прорывы:**

Электрическая энергия, высококачественная сталь, нефтяная и химическая промышленность, телефон, телеграф

- **Результат:**

Поточное производство, электрификация, железные дороги, разделение труда

Третья промышленная революция

Конец XX в (с 1970 г и далее)

- **Инновации и прорывы:**

Информатизация, развитие электроники, применение в производстве инфокоммуникационных технологий

- **Результат:**

Автоматизация и робототехника

Четвертая промышленная революция

*Термин введен в 2011 в рамках государственной программы Hi-Nech
Стратегии Германии (один из десяти проектов –Indusrie 4.0)*

- **Инновации и прорывы:**

Глобальные промышленные сети Интернет вещей, переход на возобновляемые источники энергии, переход от металлургии к композитным материалам, 3D принтеры, вертикальные фермы, синтез пищи, самоуправляемый транспорт, нейро-сети, геномная модификация, биотехнологии, искусственный интеллект

- **Результат:**

Распределенное производство, распределенная энергетика, сетевой коллективный доступ и потребление, замена посредников на распределенные сети, прямой доступ производителя к потребителю, экономика совместного использования (car – sharing, например)

СТРАТЕГИЯ

научно-технологического развития Российской Федерации

(утв. Указом Президента №642 от 01.12.2016)

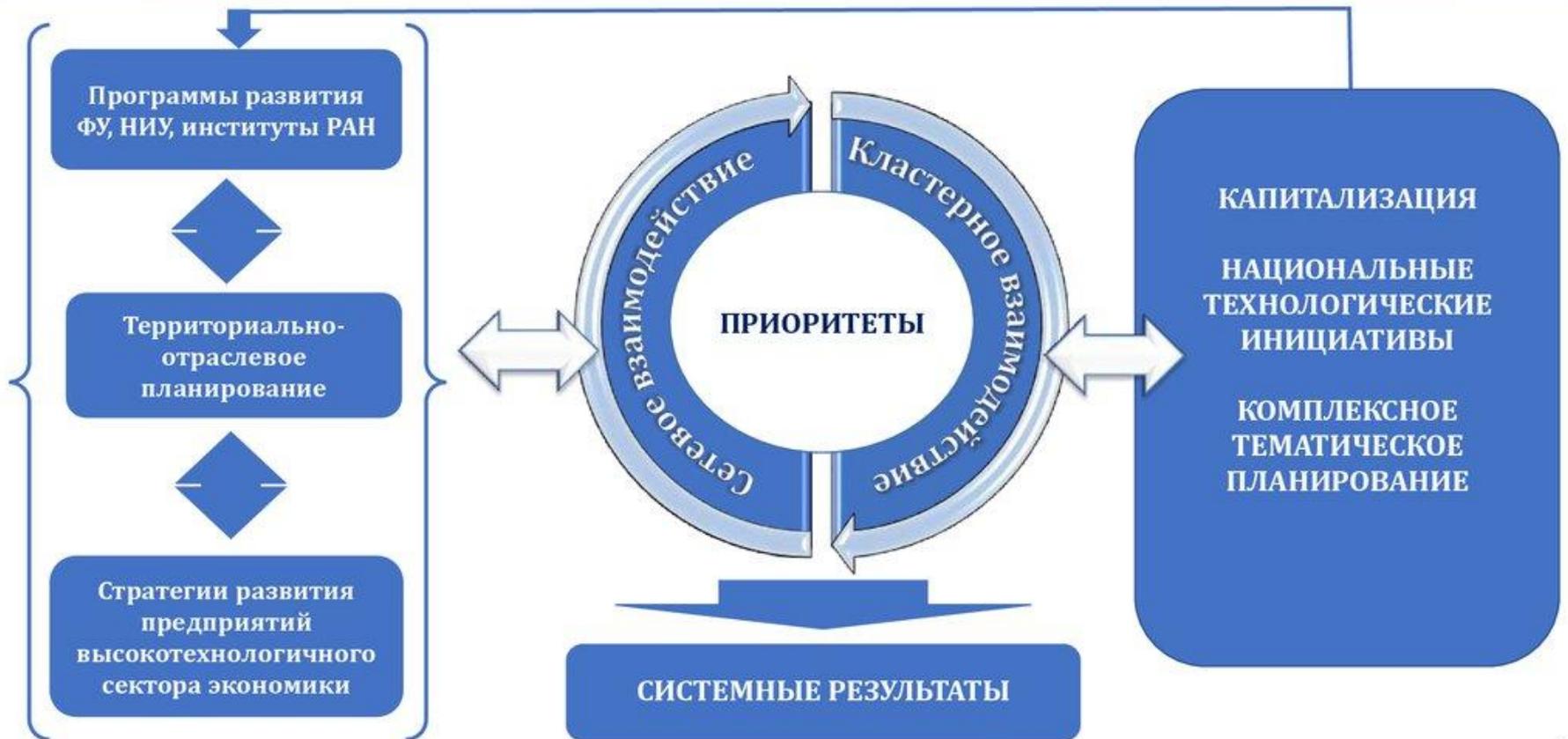
Приоритеты научно-технологического развития Российской Федерации

- а) переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта;
- б) переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии;
- в) переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных);
- г) переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания;
- д) противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, а также киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства;
- е) связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики;
- ж) возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук.

Приоритеты научно-технологического развития России



МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ



Основные термины и определения

- Информация – совокупность сведений о событиях, явлениях, процессах, понятиях и фактах, предметах и лицах независимо от формы представления
- Телекоммуникационные системы – комплекс технических средств, обеспечивающих электрическую связь
- Связь – обмен информацией или пересылка информации с помощью средств, функционирующих в соответствии с согласованными правилами (протоколами)
- Электросвязь (telecommunication)– передача или прием знаков, сигналов, текстов, изображений, звуков по проводным, оптическим или другим электромагнитным системам (*Основные положения развития ВСС РФ*)

Основные термины и определения

- Сообщение – форма представления информации для передачи ее от источника к потребителю с помощью электромагнитных сигналов средствами электросвязи
- Сигнал – материальный носитель или физический процесс, отражающий (несущий) передаваемое сообщение
- Телекоммуникационная сеть – совокупность пунктов, узлов и линий (каналов, трактов) их соединяющих
- Телекоммуникационные системы и телекоммуникационные сети, взаимодействуя друг с другом образуют систему электросвязи

Взаимодействие телекоммуникационных систем и сетей



ИС – источник сообщений

ПР – преобразователь
сообщений

СК – станция коммутации

ОС - оборудование сопряжения

СР - среда распространения

Классификация систем

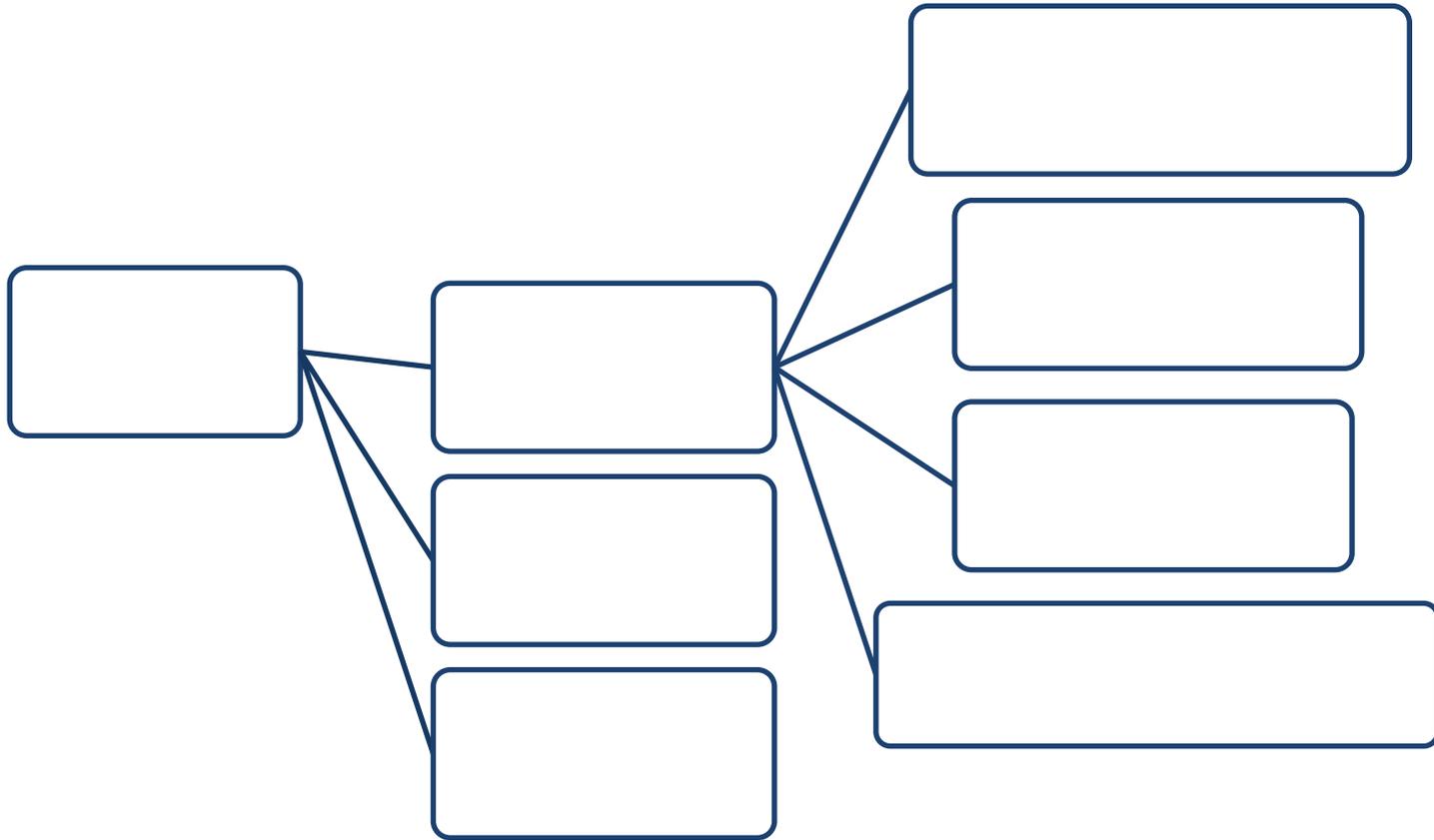
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

- **По типу передаваемых сообщений:** телефон, звуковое вещание, ТВ вещание, передача данных, телематические службы, реального времени, не реального времени, цифровые сети интегрального обслуживания (ISDN)
- **По среде распространения электрического сигнала (типу канала):**
Проводные (воздушные и кабельные), радио (наземная, космическая, спутниковая), оптическая (ВОЛС, свободное пространство)
- **По категории пользователей:**
общего назначения, ведомственные, корпоративные
- **По степени охвата:** глобальные, региональные, локальные
- **По способу коммутации:** каналов (кроссовая, оперативная), сообщений, пакетов, гибридные, адаптивные
- **По способу уплотнения каналов:** ВРК, ЧРК, КРК, пространственное, по амплитуде, по поляризации
- **По способу управления:** централизованное,

Классификация систем электросвязи



Классификация сетей электросвязи по методу доступа к каналу



Единая сеть электросвязи РФ

(126 ФЗ от 07.07.2003, ред. 07.06.2017 «О связи»)

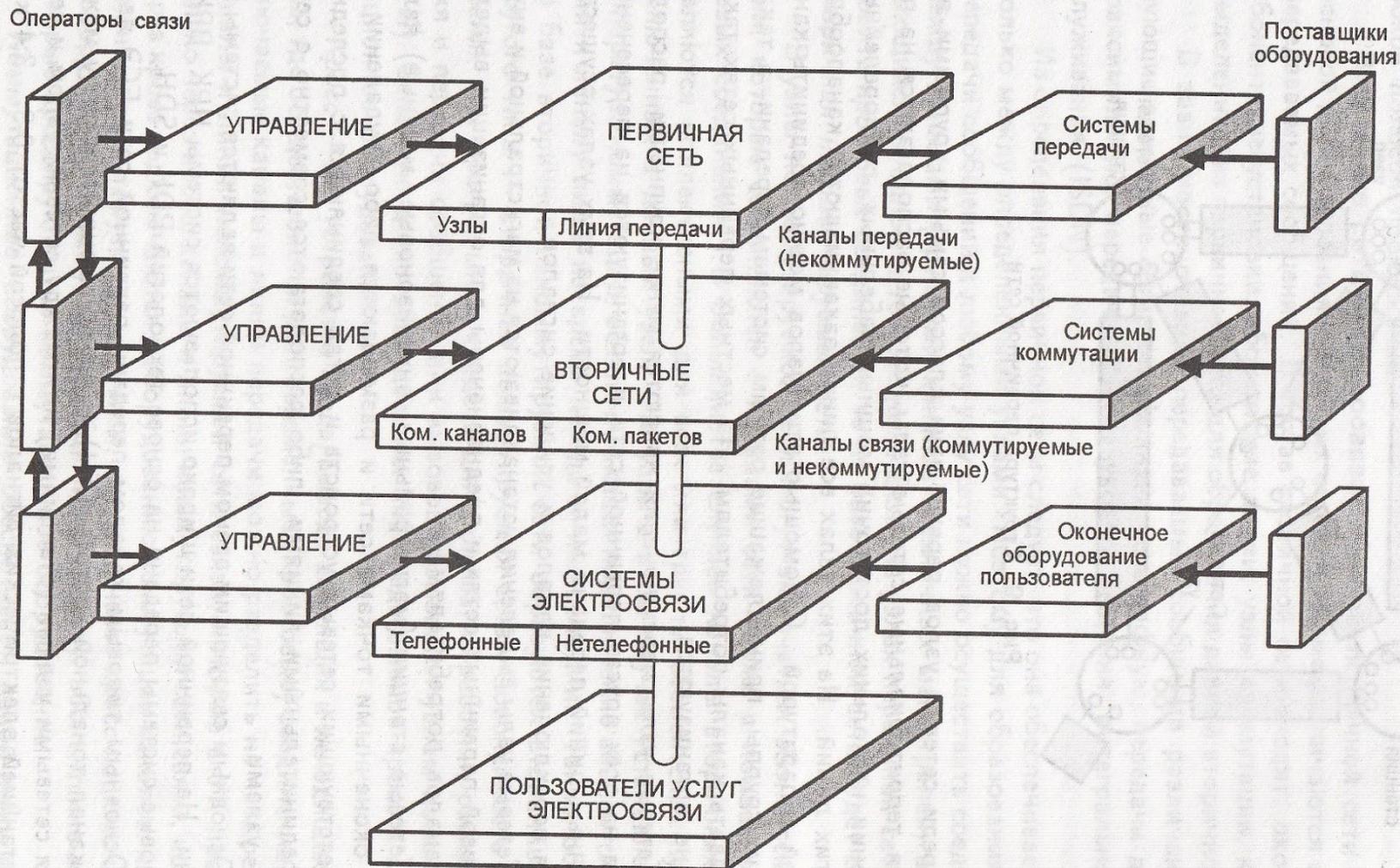
Состав:

- Сеть связи общего пользования (взаимоувязанная сеть связи РФ);
 - магистральная сеть,
 - внутризоновые сети (84 зоны),
 - местные первичные сети,
 - Линии связи абонентского доступа
- Выделенные сети связи;
- Технологические сети связи, присоединенные к сети связи общего пользования;
- Сети связи специального назначения.

Аналоговые сети

Цифровые сети интегрального обслуживания

Архитектура Единой сети электросвязи РФ



Тренды развития инфокоммуникаций



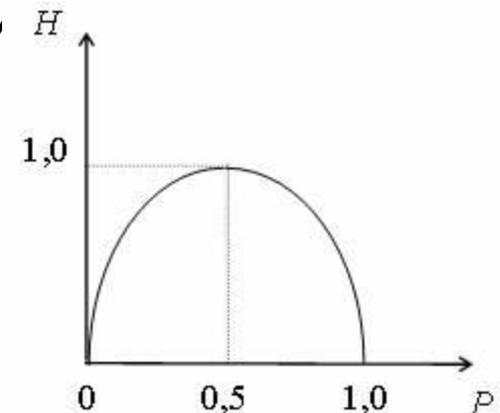
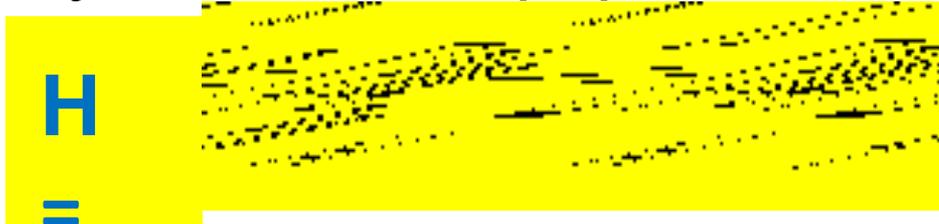
Мера

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

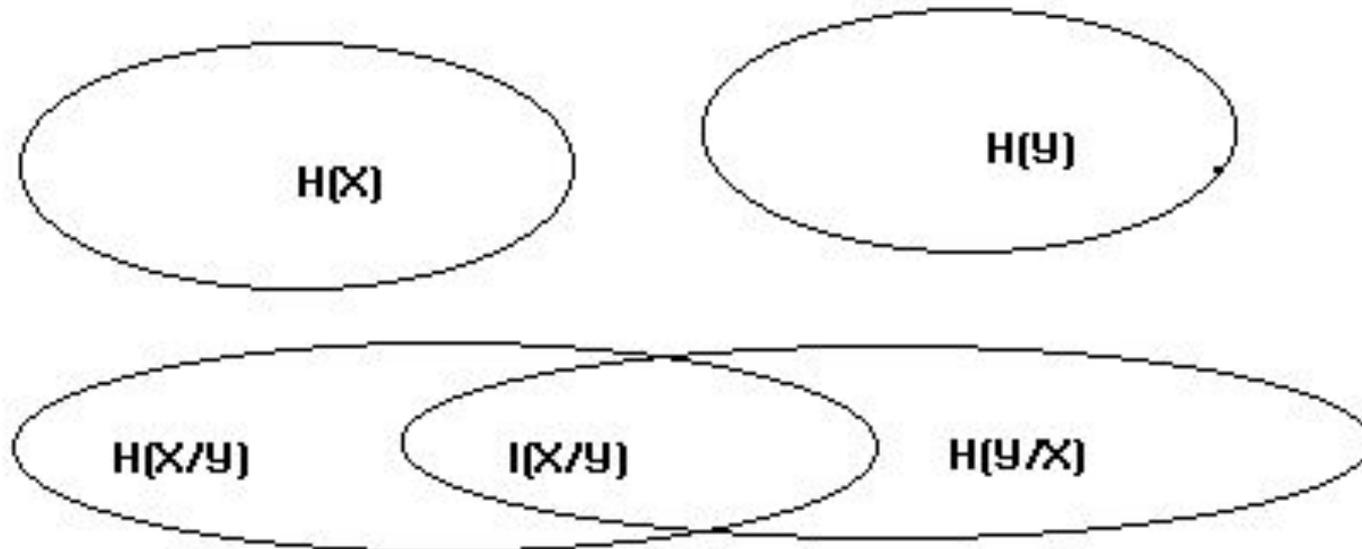
$$I = \log_2 n$$

По Шеннону (статистическая мера): -
удельная информативность \downarrow H



Взаимная информация

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



Семантические меры информации:

смысл, содержание, целесообразность,
существенность, ценность ...

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

Условия надежной передачи информации по ненадежным каналам.

Пусть требуется передать последовательность символов, появляющихся с определёнными вероятностями, причём имеется некоторая вероятность того, что передаваемый символ в процессе передачи будет искажён. Теорема Шеннона утверждает, что можно указать такое, зависящее только от рассматриваемых вероятностей положительное число v , что при сколь угодно малом $\epsilon > 0$ существуют способы передачи со скоростью v' ($v' < v$), сколь угодно близкой к v , дающие возможность восстанавливать исходную последовательность с вероятностью ошибки, меньшей ϵ . В то же время при скорости передачи v' , большей v , это уже невозможно. Упомянутые способы передачи используют надлежащие "помехоустойчивые" коды. Критическая скорость v определяется из соотношения $Nv = C$, где N — энтропия источника на символ, C — ёмкость (пропускная способность) канала в двоичных единицах в секунду.

Одной из форм представления этой теоремы может служить соотношение Хартли-Шеннона

$$C = 2 F \log_2 k,$$

где C — пропускная способность (бит/с), F — полоса пропускания линии (Гц), $k \leq 1 + A$, A — отношение сигнал/помеха.

Теорема Шеннона — Хартли в теории информации — применение теоремы кодирования канала с шумом к архетипичному случаю непрерывного временного аналогового канала коммуникаций, искажённого гауссовским шумом. Теорема устанавливает шенноновскую ёмкость канала, верхнюю границу максимального количества безошибочных цифровых данных (то есть, информации), которое может быть передано по такой связи коммуникации с указанной полосой пропускания в присутствии шумового вмешательства, согласно предположению, что мощность сигнала ограничена, и гауссовский шум характеризуется известной мощностью или спектральной плотностью мощности. Закон назван в честь Клода Шеннона и Ральфа Хартли.

Теорема Шеннона для канала без помех

Рассмотрим две фундаментальные теоремы идеального кодирования, носящие имя Шеннона. Первая из них рассматривает случай отсутствия помех в канале, вторая учитывает наличие помех, приводящих к ошибкам.

Рассмотрим проблему согласования источника сообщений и канала при передаче последовательности сообщений. Пусть источник сообщений выдает сообщения с некоторой скоростью (сообщений/ед. времени), называемой технической производительностью источника. Пусть по каналу можно передавать без искажений сообщения со скоростью, не превышающей некоторую величину (сообщений/ед. времени), называемую технической пропускной способностью канала.

Очевидно, что если выполняется условие $C_k > V_u$, то канал успевает передать все сообщения, поступающие на его вход от источника, и передача будет вестись без искажений. Что произойдет, если $C_k < V_u$? Можно ли в этом случае обеспечить передачу без искажений? Если исходить только из технических характеристик, то, очевидно, нельзя. А если учесть информационные характеристики? Ведь нам известно, что если последовательность обладает информационной избыточностью, то её можно сжать, применив методы экономного кодирования. Рассмотрим подробнее такую возможность. Пусть V_u - (информационная) производительность источника, т.е. количество информации, производимое источником в единицу времени; C_k - (информационная) пропускная способность канала, т.е. максимальное количество информации, которое способен передать канал без искажений за единицу времени. Первая теорема Шеннона утверждает, что безошибочная передача сообщений определяется соотношением V_u и C_k .

Первая теорема Шеннона: если пропускная способность канала без помех превышает производительность источника сообщений, т.е. удовлетворяется условие $C_k > V_u$,

то существует способ кодирования и декодирования сообщений источника, обеспечивающий сколь угодно высокую надежность передачи сообщений. В противном случае, т.е. если $C_k < V_u$

Такого способа нет.

Таким образом, идеальное кодирование по Шеннону по существу представляет собой экономное кодирование последовательности сообщений при безграничном укрупнении сообщений. Такой способ кодирования характеризуется задержкой сообщений

поскольку кодирование очередной типичной последовательности может начаться только после получения последовательности источника длительностью T , а декодирование – только когда принята последовательность из канала той же длительности T . Поскольку требуется $C_k > V_u$, то идеальное кодирование требует бесконечной задержки передачи информации. В этом причина технической нереализуемости идеального кодирования по Шеннону. Тем не менее, значение этого результата, устанавливающего предельные соотношения информационных характеристик источника и канала для безошибочной передачи сообщений, весьма велико. Исторически именно теорема Шеннона инициировала и определила развитие практических методов экономного кодирования.

Теорема Шеннона для канала с помехами

При отсутствии помех ошибки при передаче могут возникать только за счет неоднозначного кодирования сообщений.

Рассмотрим теперь ситуацию, когда в канале действуют помехи, вызывающие искажения передаваемых символов.

Теоремы Шеннона для канала с шумами

Теоремы Шеннона для канала с шумами (теоремы Шеннона для передачи по каналу с шумами) связывают пропускную способность канала передачи информации и существование кода, который возможно использовать для передачи информации по каналу с ошибкой, стремящейся к нулю (при увеличении длины блока).

Формулировка теорем [[править](#) | [править код](#)]

Пусть

- длина блока, генерируемого источником
- длина блока, который будет передан по каналу (после кодирования)
- скорость передачи сообщений (производительность источника)
- [пропускная способность канала](#), определяемая как максимум [взаимной информации](#) на входе и выходе канала (и — представление входа и выхода канала как [случайных величин](#))
- средняя [вероятность ошибки декодирования блока](#)
- максимальная вероятность ошибки декодирования блока

Прямая теорема

Если скорость передачи сообщений меньше пропускной способности канала связи (), то существуют коды и методы декодирования такие, что средняя и максимальная вероятности ошибки декодирования стремятся к нулю, когда длина блока стремится к бесконечности, то есть , пр

Иными словами: Для канала с помехами всегда можно найти такую систему кодирования, при которой сообщения будут переданы со сколь угодно большой [степенью верности](#), если только производительность источника не превышает [пропускной способности канала](#).

Обратная теорема

Если скорость передачи больше пропускной способности, то есть , то не существует таких способов передачи, при которых вероятность ошибки стремится к нулю () при увеличении длины передаваемого блока, ().

Предел Шеннона [[править](#) | [править код](#)]

Под пределом Шеннона ([англ. Shannon limit](#)) понимается максимальная скорость передачи, для которой имеется возможность (выбрать сигнально-кодую конструкцию) исправить ошибки в канале с заданным [отношением сигнал/шум](#). Для канала с аддитивным белым гауссовским шумом пропускная способность согласно формуле Шеннона:

где

- полоса частот канала, Гц,
- мощность сигнала, Вт,
- мощность шума, Вт,
- спектральная плотность мощности шума, Вт/Гц.

Максимальная пропускная способность канала с АБГШ и неограниченным спектром:

бит/с.

В настоящее время ([2007 год](#)) максимальное приближение к этому пределу даёт [LDPC-код](#) с примерной длиной блока в 10 миллионов [бит](#).