

Информация и информационные процессы

- § 1. Количество информации
- § 2. Передача данных
- § 3. Сжатие данных
- § 4. Информация и управление
- § 5. Информационное общество

Информация и информационные процессы

§ 1. Количество информации

Содержательный подход. Формула Хартли (1928)

$$N = 2^I$$

$$I = \log_2 N$$

I – количество информации в битах
 N – количество вариантов



*Ральф
Хартли*

Пример:

В аэропорту стоит 10 самолетов, из них один летит в Санкт-Петербург. Оценить количество информации в сообщении «В Санкт-Петербург летит второй самолет»?

$$I = \log_2 10 = \frac{\ln 10}{\ln 2} = \frac{\lg 10}{\lg 2} = 3,322 \text{ бита}$$

Алфавитный подход

N – мощность алфавита

Информационный объём

символа:

$$N = 2^i \quad i = \log_2 N$$

вверх до целого
числа

сообщения длиной K :

$$I = K \cdot i$$

$$I = K \cdot \log_2 N$$

Пример: сообщение длиной 100 символов закодировано с помощью алфавита из 50 знаков.

$$i = \log_2 50 \approx 5,644 \text{ бита}$$

6 битов

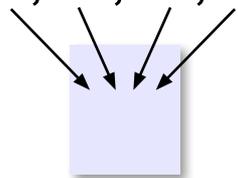
$$I = 100 \cdot \log_2 50 \approx 564,4 \text{ бита}$$

600 битов

Количество различных сообщений

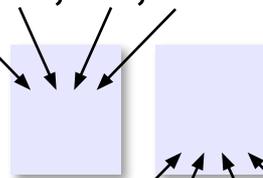
алфавит: А, Б, В, Г

А, Б, В, Г



всего: 4

А, Б, В, Г



всего: $4 \cdot 4 = 4^2 = 16$

А, Б, В, Г для **каждого** варианта

N – мощность алфавита

L – длина сообщения

Q – количество различных сообщений

$$Q = N^L$$

Информация и вероятность

Доля символов в русских текстах:

из 1000
символов
около 175
пробелов

вероятность p
появления символа

	0,175	Я	0,018
О	0,090	Ы	0,017
Е	0,072	З	0,016
А	0,063	Ь	0,015
И	0,062	Б	0,014
Т	0,053	Г	0,013
Н	0,052	Ч	0,012
С	0,045	Й	0,010
р	0,040	Х	0,009
В	0,038	Ж	0,007
Л	0,035	Ю	0,006
К	0,028	Ш	0,005
М	0,026	Ц	0,004
Д	0,025	Щ	0,003
П	0,023	Э	0,002
У	0,021	Ф	0,001

Вероятность

Вероятность события – число от 0 до 1, показывающее, как часто случается это событие в большой серии одинаковых опытов.

$$0 \leq p \leq 1$$

$$x^2 < 0$$

$$p = 0$$

событие **никогда** не происходит
(нет неопределенности)

$$p = 0,5$$

событие происходит в половине случаев (есть неопределенность)



$$p = 1$$

событие происходит **всегда**
(нет неопределенности)

$$x^2 \geq 0$$

Вероятность

N – количество испытаний

m – сколько раз произошло событие

$$p = \frac{m}{N}$$

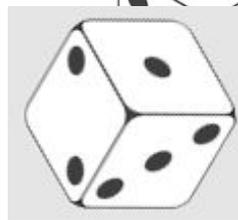


ровно 2:

$$p = \frac{1}{6}$$

чётное: $p = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$

меньше 3: $p = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$



2 и 2:

$$p = \frac{1}{36}$$

2 чётных: $p = \frac{3 \cdot 3}{36} = \frac{1}{4}$

оба меньше 3: $p = \frac{4}{36} = \frac{1}{9}$

Вероятность и информация

$f(p) = -K \cdot \log_2 p$ при $K = 1 \Rightarrow$ информация в битах

Если событие имеет вероятность p , то количество информации в битах, полученное в сообщении об этом событии, равно

$$I = -\log_2 p = \log_2 \frac{1}{p}$$

$$p = 1 \Rightarrow I = \log_2 1 = 0$$

$$p \rightarrow 0 \Rightarrow I \rightarrow \log_2 \infty = \infty$$

Вероятность и информация

Аддитивность:

по 8 шариков разного цвета



$$p = \frac{1}{8}$$



всего $8 \cdot 8 = 64$

варианта

$$p = \frac{1}{64}$$

$$I_1 = I_2 = \log_2 \frac{1}{p} = \log_2 8 = 3 \text{ бита}$$

$$I = I_1 + I_2 = 6 \text{ битов}$$

$$I = \log_2 64 = 6 \text{ битов}$$



Аддитивность выполняется!

Связь с формулой Хартли

N равновероятных событий $\Rightarrow p = \frac{1}{N}$

$$I = \log_2 \frac{1}{p} = \log_2 N$$

совпадает с
формулой Хартли

Если вероятности разные:



«**Васе достался зелёный шарик**».

$$p = \frac{6}{8} = \frac{3}{4}$$

$$I = \log_2 \frac{4}{3} \approx 0,415 \neq 0,5$$

Формула Шеннона

Количество полученной информации равно уменьшению неопределенности.

$$I = \Delta H = H_{\text{нач}} - H_{\text{кон}}$$



Как вычислить H ?

Неопределённость знаний об источнике данных (N событий, вероятности p_i):

$$H = \sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = p_1 \cdot \log_2 \frac{1}{p_1} + \dots + p_N \cdot \log_2 \frac{1}{p_N}$$



Клод Шеннон

информационная **энтропия**

Формула Шеннона

«Идёт ли сейчас снег?» (1 – да, 2 – нет)

зимой: $p_1 = \frac{1}{2}$  Как вычислить p_2 ?

$$p_2 = 1 - p_1 = \frac{1}{2}$$

 Сумма вероятностей всех событий, составляющих полную систему, равна 1!

$$H = \frac{1}{2} \cdot \log_2 2 + \frac{1}{2} \cdot \log_2 2 = \log_2 2 = 1 \text{ би/т}$$

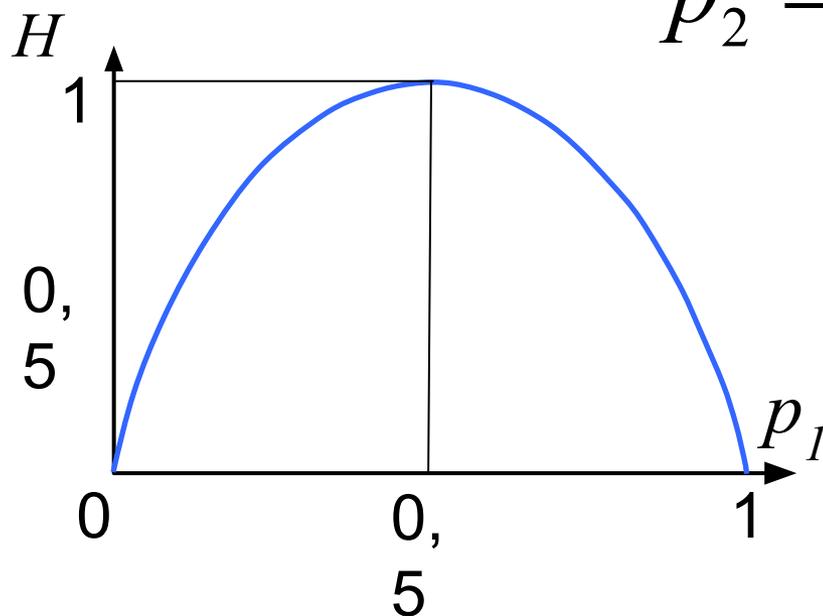
летом: $p_1 = 0,0001$, $p_2 = 0,9999$

$$H = 0,0001 \cdot \log_2 \frac{1}{0,0001} + 0,9999 \cdot \log_2 \frac{1}{0,9999} \approx 0,0015 \text{ би/т}$$

Когда неопределённость наибольшая?

Система двух событий:

$$p_2 = 1 - p_1$$



Неопределенность
максимальна, когда все
события равновероятны.

совпадает с
формулой Хартли!

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = \frac{1}{N}$$

$$H = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log_2 N = \log_2 N$$

Информация и информационные процессы

§ 2. Передача данных

Скорость передачи данных

Скорость передачи данных – это количество битов (байтов, Кбайт и т.д.), которое передается по каналу связи за единицу времени (например, за 1 с).

бит/с = 1 *bps* (*bits per second*)

1 кбит/с = 1000 бит/с

1 Мбит/с = 10^6 бит/с

1 Гбит/с = 10^9 бит/с

скорость
передачи

время

Объём переданных данных:

$$I = v \cdot t$$

$v = 512000$ бит/с, $t = 1$ мин

$$I = v \cdot t = 512000 \text{ бит/с} \cdot 60 \text{ с} = \\ 30\,720\,000 \text{ битов}$$

$$= 3\,840\,000 \text{ байтов} = 3750 \text{ Кбайт.}$$

Обнаружение ошибок

10010



Верно ли переданы данные?

Бит чётности:

00 01 10 11 \Rightarrow 00**0** 01**1** 10**1** 11**0**

теперь число единиц в
каждом блоке чётное

Если в принятом блоке нечётное число «1» – **ошибка!**

принято: **010** 110 000 **111** 000



Можно ли исправить?

Для файлов – контрольные суммы (хэш):

CRC = *Cyclic Redundancy Code*

MD5, SHA-1

Помехоустойчивые коды

10010

111 000 000 111 000 – утроение каждого бита

принято: **010111000101000**

исправлено: **000111000111000**



Обнаруживает 1 или 2 ошибки, исправляет 1 ошибку!

Помехоустойчивый код – это код, который позволяет исправлять ошибки, если их количество не превышает некоторого уровня.

Расстояние Хэмминга

Расстояние Хэмминга – это количество позиций, в которых отличаются два закодированных сообщения одинаковой длины.

$$d(\mathbf{001}, \mathbf{100}) = 2$$

$$d(\mathbf{000}, \mathbf{111}) = 3$$



Обнаруживает 1 или 2 ошибки, исправляет 1 ошибку!

Исправление r ошибок:

$$d \geq 2r + 1$$

Передача 3-битных блоков

000	010	100	110
001	011	101	111

$$d(000000, x) = ?$$

001111 → 4	010011 → 3	100101 → 3	110110 → 4
	011100 → 3	101010 → 3	111001 → 4

$$d_{min} = 3 \Rightarrow r = 1$$

Исправление ошибки

принято: 101110



Недопустимый код!

ближайший допустимый код:

101010

Помехоустойчивые коды Хэмминга

4 полезных бита, 3 контрольных
избыточность $3/4 = 75\%$

1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	1	1	0	0

бит 1: $(1 + 1 + 0) \bmod 2 = 0$

бит 2: $(1 + 0 + 0) \bmod 2 = 1$

бит 4: $(1 + 0 + 0) \bmod 2 = 1$

$$\begin{aligned} 3 &= 1 + 2 \\ 5 &= 1 + 4 \\ 6 &= 2 + 4 \\ 7 &= 1 + 2 + 4 \end{aligned}$$

$$d_{min} = 3 \Rightarrow r = 1$$

Код Хэмминга: исправление ошибки

1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	1	1	1	0
		•		•	•	•

Контрольные биты:

бит 1: $(1 + 1 + 0) \bmod 2 = 0$ ✓

бит 2: $(1 + 1 + 0) \bmod 2 = 0$ ⊖

бит 4: $(1 + 1 + 0) \bmod 2 = 0$ ⊖

Номер ошибочного бита: $2 + 4 = 6$

0	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---

1	1	0	0
---	---	---	---

Длинные коды Хэмминга

Контрольные биты:

1, 2, 4, 8, 16, ... , 2^k

Длина кодовых слов, бит	Число контрольных битов	Избыточность
4	3	75%
11	4	36%
26	5	19%
57	6	10%
247	8	3%
1013	10	1%



Исправляется только 1 ошибка в блоке!

Информация и информационные процессы

§ 3. Сжатие данных

Что такое сжатие?

Алфавит: **A, B, C, _**

Сообщение: **ABA CABA**



80 битов в 8-битной кодировке!

A → 00 **C** → 10

B → 01 **_** → 11

ABA CABA → 00 01 00 11 10 00 01 00 01 00

20 битов



Как раскодировать?

Словарь:

	00	01	10	11
	00000100 ₂	01000001 ₂	01000010 ₂	01000011 ₂
	4 символа	A (код 65)	B (код 66)	C (код 67)
				пробел (код 32)

Коэффициент сжатия

Сообщение: **10240 символов**

Алфавит: **A, B, C, _**

Словарь: **5 байтов**

Длина кода:

$$10240 \times 2 = 20480 \text{ битов} = \mathbf{2560 \text{ байтов}}$$

Длина сжатого сообщения:

$$5 + 2560 = \mathbf{2565 \text{ байтов}}$$

Коэффициент сжатия – это отношение размеров исходного и сжатого файлов.

$$k = \frac{10240}{2565} \approx 4$$

Сжатие без потерь

Сжатие без потерь – это такое уменьшение объема закодированных данных, при котором можно восстановить их исходный вид из кода без искажений.



За счёт чего сжимается сообщение?



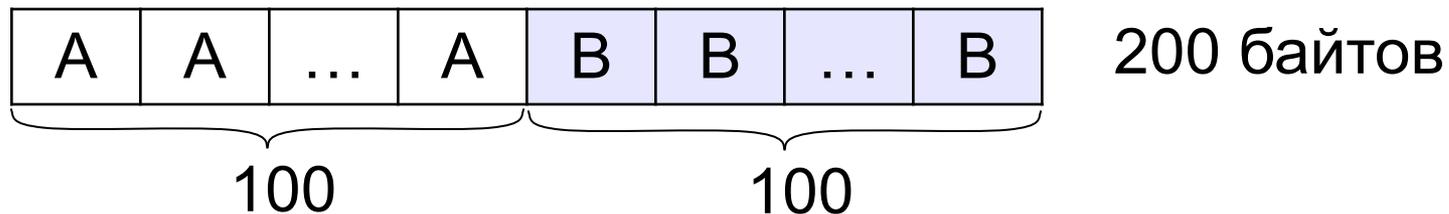
В данных должна быть избыточность!

используются только
4 символа из 256

Алгоритм RLE

RLE (англ. *Run Length Encoding*, кодирование цепочек одинаковых символов)

Файл qq.txt



Файл qq.rle (сжатый)



сжатие в 50 раз!



В чем состоит избыточность?

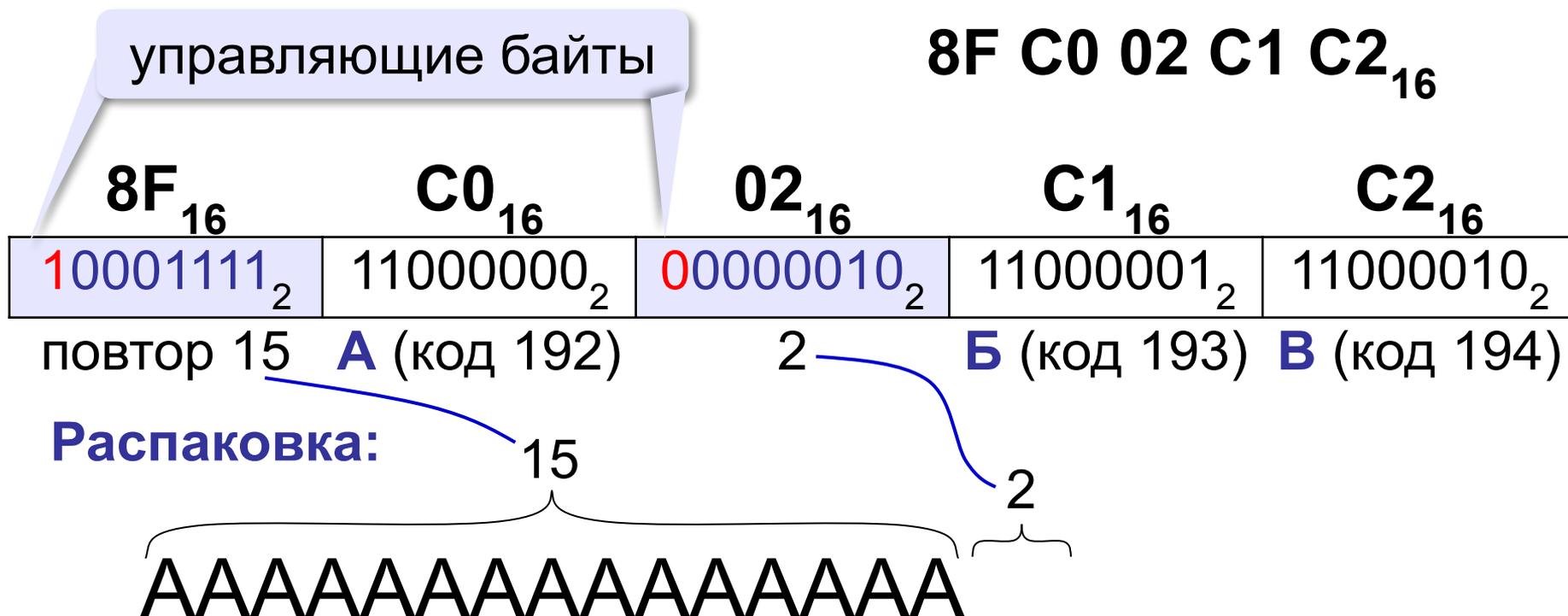


Сжатие с потерями или без?



Что в худшем случае?

Алгоритм RLE



Применение:

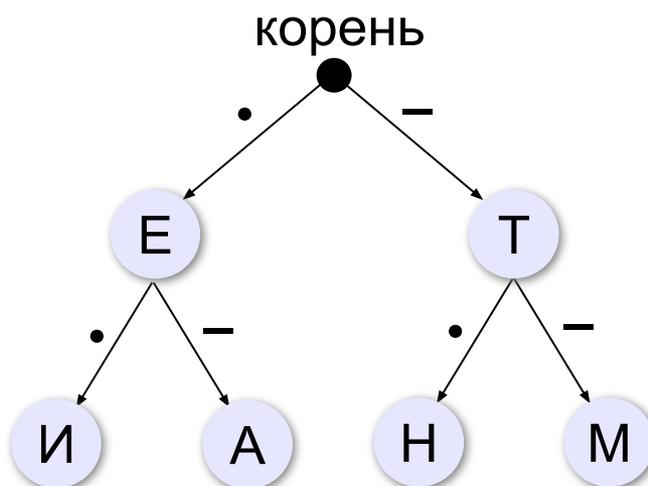
- сжатие рисунков * .bmp (с палитрой)
- один из этапов сжатия рисунков * .jpg

Неравномерные коды

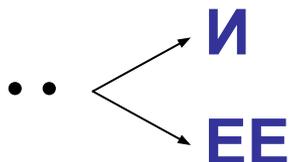
Идея: кодировать часто встречающиеся символы более короткими кодовыми словами.

Азбука Морзе:

Е	•	И	••
Т	—	А	•—
		Н	—•
		М	— —



Проблема: разделить последовательность на кодовые слова!

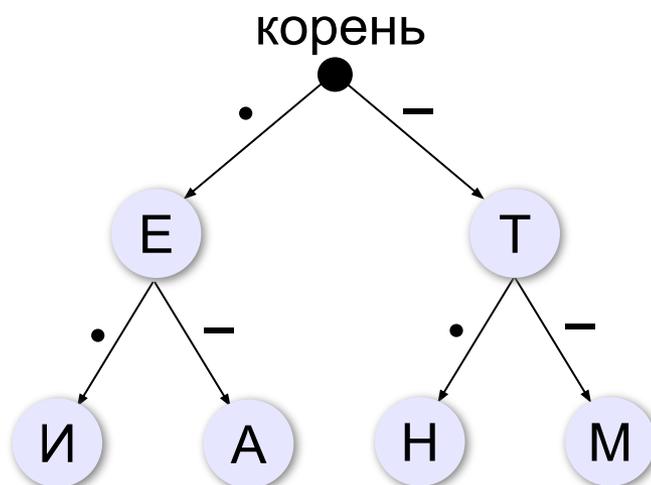


Можно ли обойтись без разделителя?

Префиксные коды

Префиксный код – это код, в котором ни одно кодовое слово не является началом другого кодового слова (условие Фано).

Е	•	И	••
Т	–	А	•–
		Н	–•
		М	––



НЕ ВСЕ СИМВОЛЫ
В ЛИСТЬЯХ!

! Это не префиксный код!

! Проблема: как построить префиксный код?

Код Шеннона-Фано

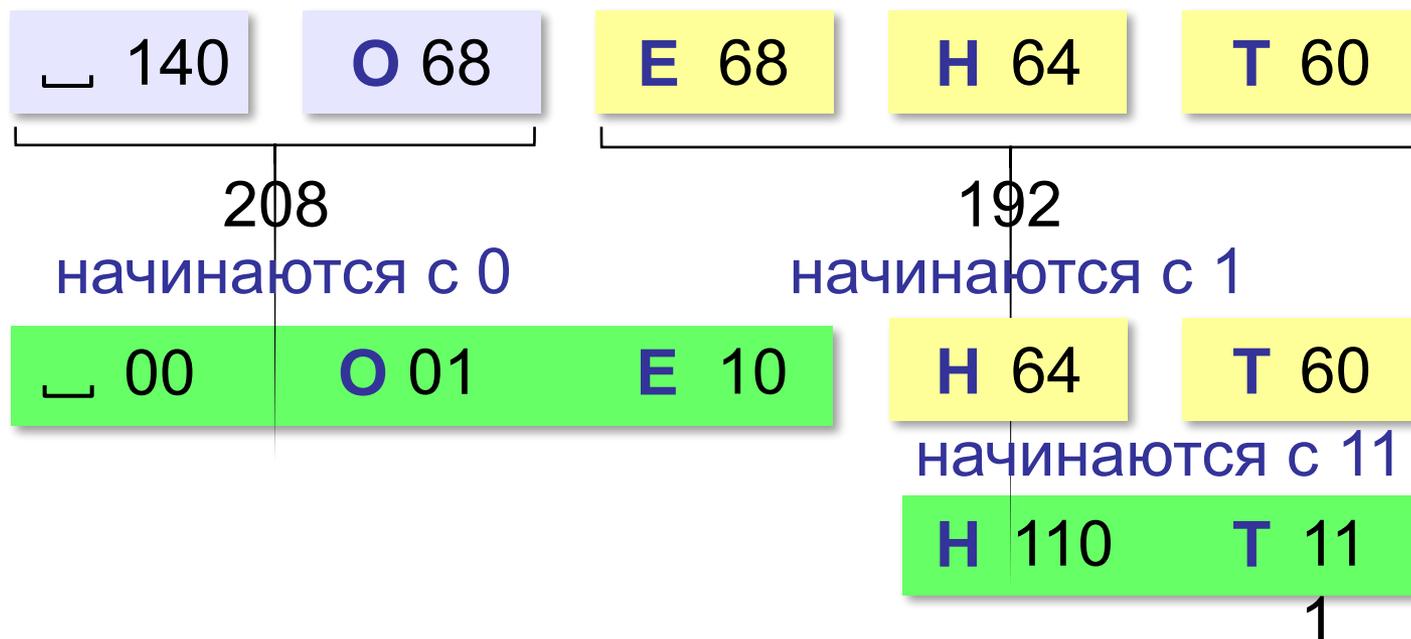
Алфавит: **О**, **Е**, **Н**, **Т**, **␣**

Количество символов в сообщении:

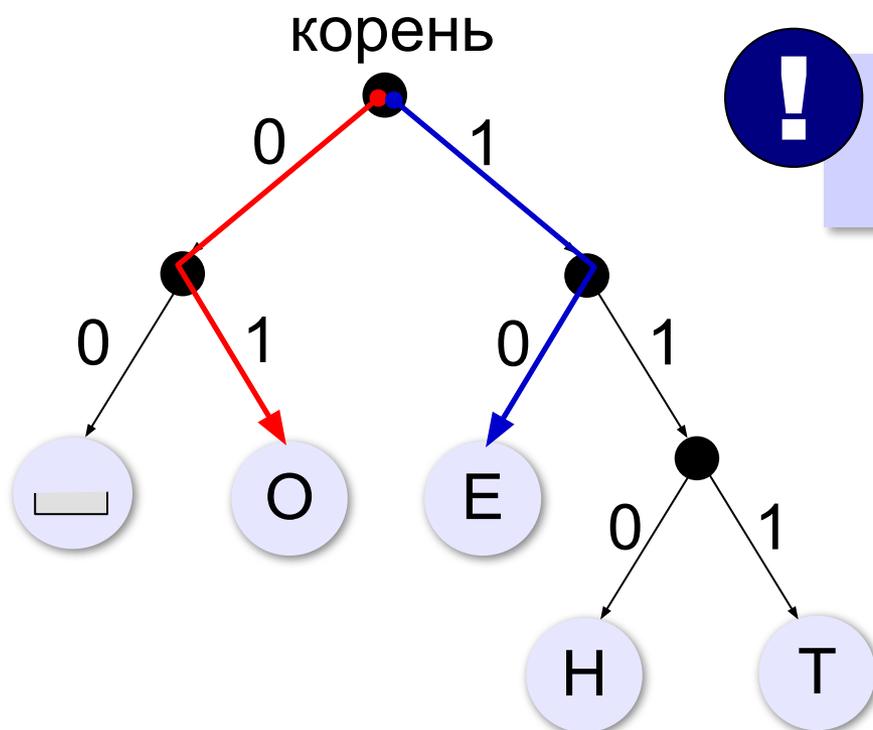
␣ 140 **О** 68 **Е** 68 **Н** 64 **Т** 60

в порядке невозрастания

На 2 группы с примерно равным числом символов:



Код Шеннона-Фано



Это префиксный код (все символы в листьях дерева)!

Декодирование:

1110111101001011001111
 1Т О 1Т О _ Е Н О 1Т

Код Шеннона-Фано



- учитывается частота символов
- не нужен символ-разделитель
- код префиксный – можно декодировать по мере поступления данных



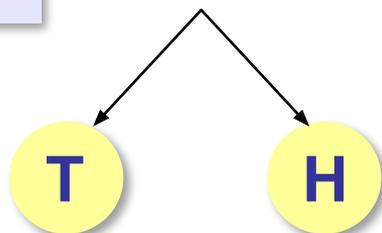
- нужно заранее знать частоты символов
- код неоптимален
- при ошибке в передаче сложно восстановить «ХВОСТ»
- не учитывает повторяющиеся последовательности СИМВОЛОВ

Алгоритм Хаффмана

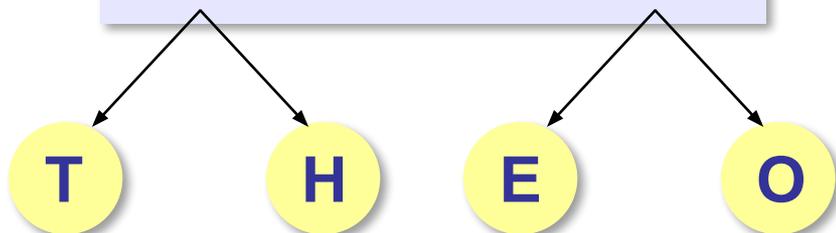
По увеличению частоты:

Т 60 **Н** 64 **Е** 68 **О** 68 \lfloor 140

Е 68 **О** 68 124 \lfloor 140

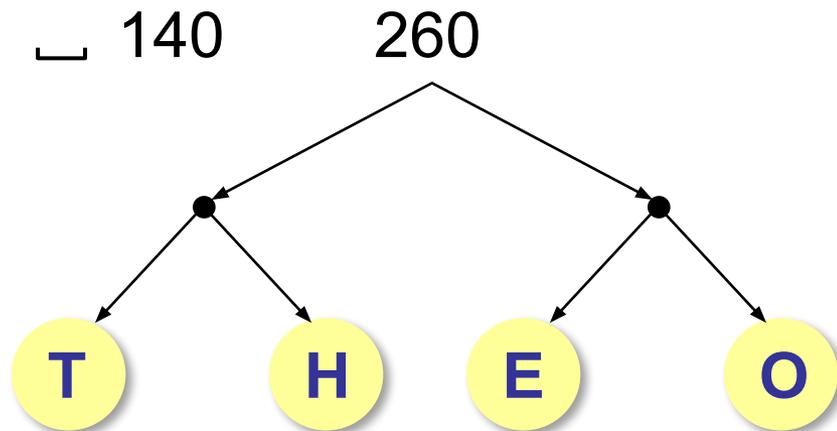


124 136 \lfloor 140



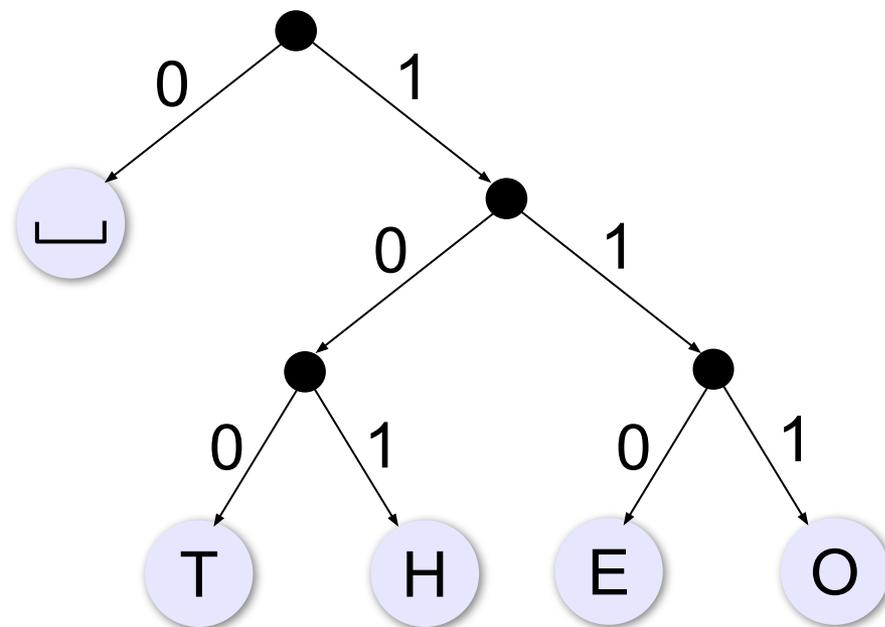
Дэвид Хаффман

Алгоритм Хаффмана



Код Хаффмана:

└ 0 Т 100 Н 101
 Е 110 О 11
 1



Сравнение алгоритмов

Количество символов в сообщении:

Л 140 О 68 Е 68 Н 64 Т 60

Равномерное кодирование (8-битный код):

$$(140 + 68 + 68 + 64 + 60) \cdot 8 = 3200$$

БИТОВ

Равномерное кодирование (3-битный код):

$$(140 + 68 + 68 + 64 + 60) \cdot 3 = 1200$$

БИТОВ

+ словарь!



В чём избыточность?

Сравнение алгоритмов

Количество символов в сообщении:

Л 140 О 68 Е 68 Н 64 Т 60

Код Шеннона-Фано:

Л 00 О 01 Е 10 Н 110 Т 11

$$(140 + 68 + 68) \cdot 2 + (64 + 60) \cdot 3 = 924$$

бита

$$k = \frac{1200}{924} \approx 1,299$$

Код Хаффмана:

Л 0 О 11 Е 110 Н 101 Т 100

$$140 + (68 + 68 + 64 + 60) \cdot 3 = 920$$

бит

$$k = \frac{1200}{920} \approx 1,304$$



Оптimalен!

Алгоритм Хаффмана



- код оптимальный среди алфавитных кодов



- нужно заранее знать частоты символов
- при ошибке в передаче сложно восстановить «ХВОСТ»
- не учитывает повторяющиеся последовательности СИМВОЛОВ

Алгоритм LZW

1977: А. Лемпел и Я. Зив, 1984: Т. Велч

Идеи:

- кодировать не отдельные символы, а блоки
 - последовательностям символов присваиваются числовые коды
 - новая цепочка \Rightarrow занесение в словарь с новым кодом
- 
 - словарь строится по мере получения данных
 - не нужны частоты символов \Rightarrow за один проход!

Применение:

- сжатие рисунков `*.gif`, `*.tif`
- сжатие документов `*.pdf`

Сжатие с потерями

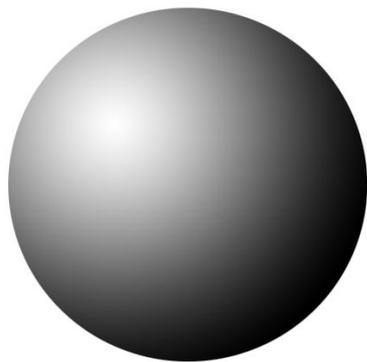
Сжатие с потерями – это такое уменьшение объема закодированных данных, при которых распакованный файл может отличаться от оригинала.

Идея: «отбросить» часть данных, которые не влияют на восприятие информации человеком (доп. размытие фотографий, частоты выше 20 кГц, ...)

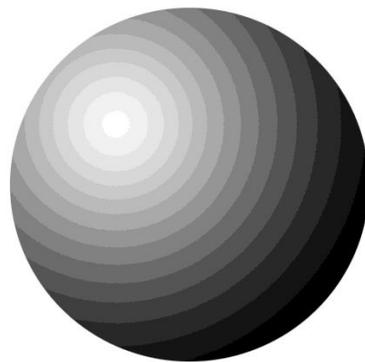
Применение:

- сжатие рисунков * .jpg, * .jpeg
- сжатие звука * .mp3, * .aac, * .ogg, ...
- сжатие видео * .mpg, * .wmv, * .mov, ...

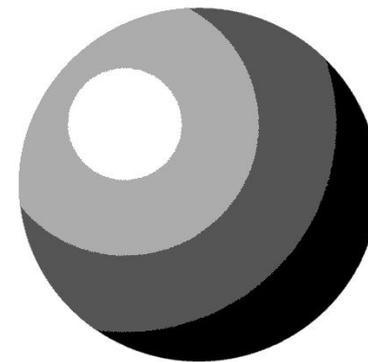
Снижение глубины цвета



8 битов на пиксель
(256 цветов)



4 бита на пиксель
(16 цветов)



2 бита на пиксель
(4 цвета)



размер ↓

качество ↓

Сжатие JPEG

яркость

«синева»

RGB → **Y Cb Cr**

«краснота»

$Y = 0,299 \cdot R +$ глаз чувствительнее к зелёному!

$Cb = 128 - 0,1687 \cdot R - 0,3313 \cdot G + 0,5$
 $\cdot B$

$Cr = 128 + 0,5 \cdot R - 0,4187 \cdot G - 0,0813$

? Что для чёрно-белого (серого)?

$Cb = Cr = 128$

Сжатие JPEG

Идея: глаз наиболее чувствителен к яркости

Y_1, Cb_1, Cr_1	Y_2, Cb_2, Cr_2
Y_3, Cb_3, Cr_3	Y_4, Cb_4, Cr_4

12 чисел

6 чисел

$\Rightarrow Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Cb, Cr$
например:

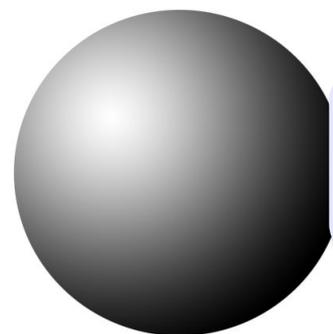
$$Cb = \frac{Cb_1 + Cb_2 + Cb_3 + Cb_4}{4}$$

$$Cr = \frac{Cr_1 + Cr_2 + Cr_3 + Cr_4}{4}$$

потери!

+ *дискретное косинусное преобразование*, алгоритмы RLE и Хаффмана

Сжатие JPEG



качество 100
(8400 байтов)



качество 50
(3165 байтов)



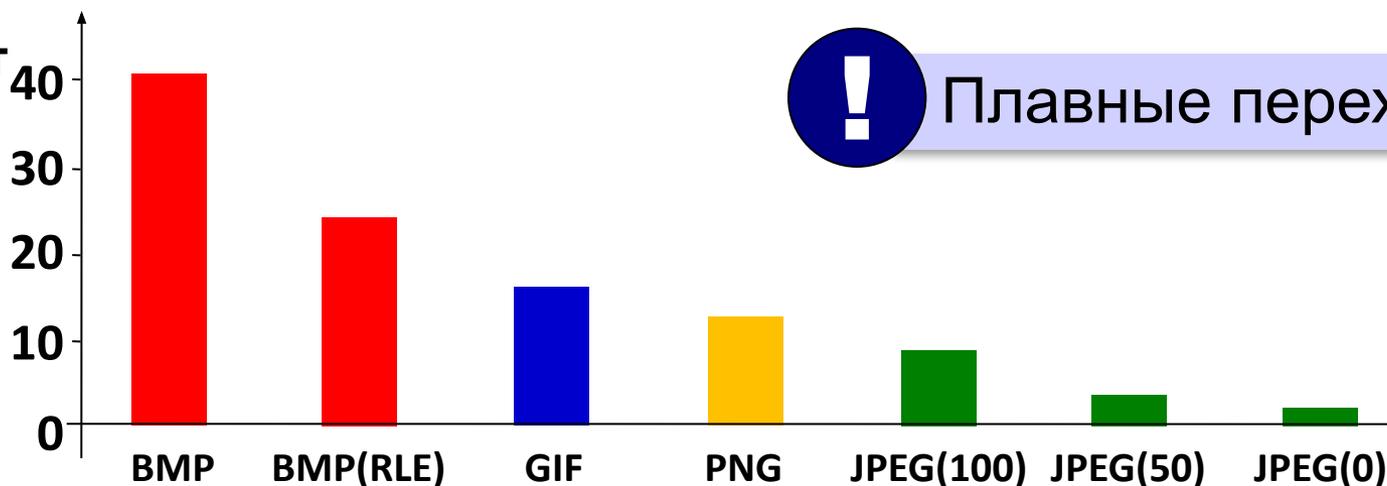
качество 0
(1757 байтов)



качество 0
(фрагмент)

Артефакты – заметные искажения из-за сжатия с потерями

V,
Кбайт



Плавные переходы!

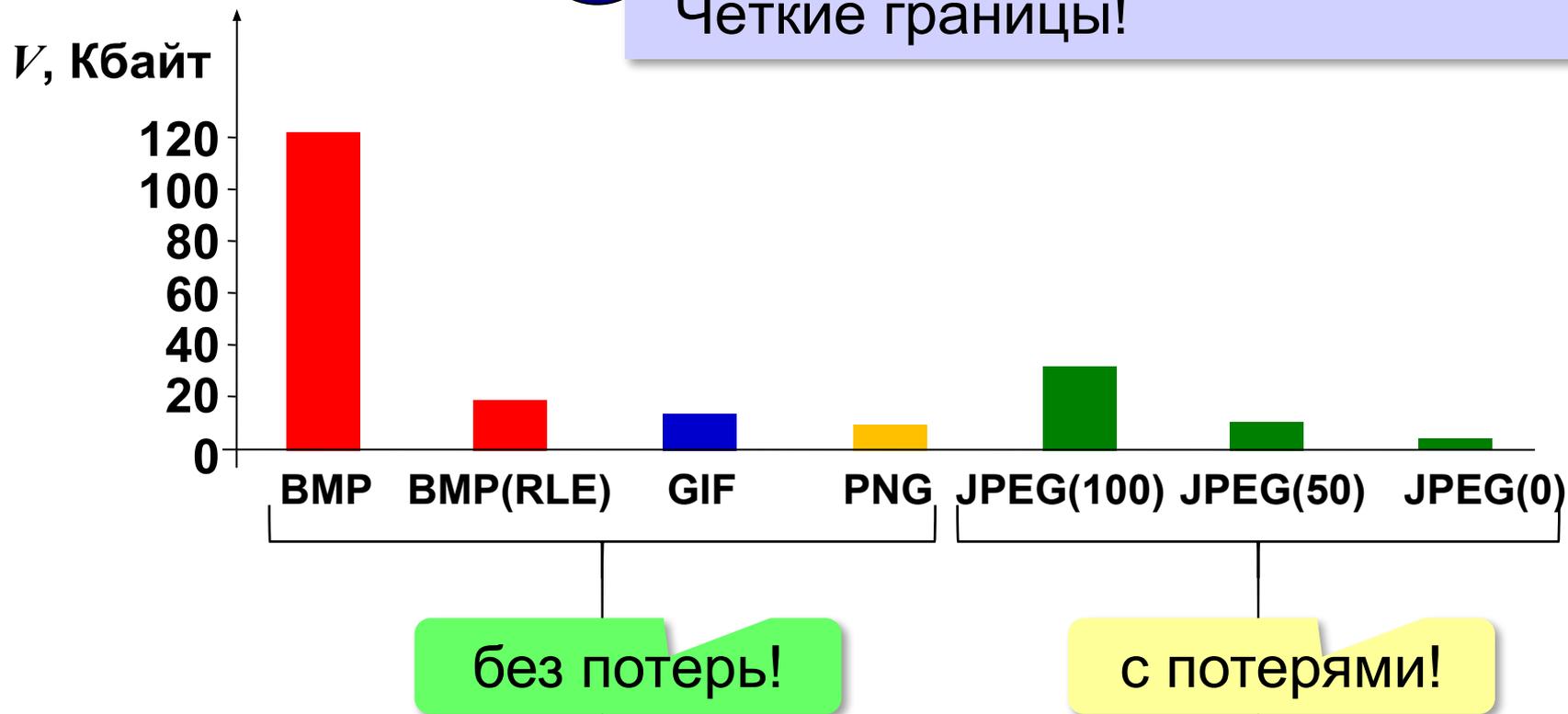
Сжатие рисунков с потерями и без



Что особенного?



Большие области одного цвета!
Чёткие границы!



без потерь!

с потерями!

Сжатие звука (MP3)

MP3 = MPEG-1 Layer 3, кодирование восприятия

Битрейт – это число бит, используемых для кодирования 1 секунды звука.

MP3: от 8 до 320 кбит/с

Без сжатия на CD (1 сек, 44 кГц, 16 бит, стерео):

$2 \times 88000 = 176\,000$ байт = $1\,408\,000$ бит = **1408 кбит**

Сжатие MP3 (**256 кбит/с**):

$$k = \frac{1408}{256} \approx 5,5$$

Сжатие видео

видео = изображения + звук

Кодек (кодировщик/декодировщик) – это программа для сжатия данных и восстановления сжатых данных.

MJPEG, MPEG-4, DivX, Xvid, H.264, ...



Артефакты – заметные искажения из-за сжатия с потерями

Сжатие: итоги



Сжатие уменьшает избыточность данных!

Хорошо сжимаются:

- тексты (* .txt)
- документы (* .doc)
- несжатые рисунки (* .bmp)
- несжатый звук (* .wav)
- несжатое видео (* .avi)



Нужно ли стремиться к полному удалению избыточности?

Плохо сжимаются:

- случайные данные
- сжатые данные в архивах (* .zip, * .rar, * .7z)
- сжатые рисунки (* .jpg, * .gif, * .png)
- сжатый звук (* .mp3, * .aac)
- сжатое видео (* .mpg, * .mp4, * .mov)

Информация и информационные процессы

§ 4. Информация и управление

Кибернетика

Кибернетика – это наука, изучающая общие закономерности процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе.

Идеи:

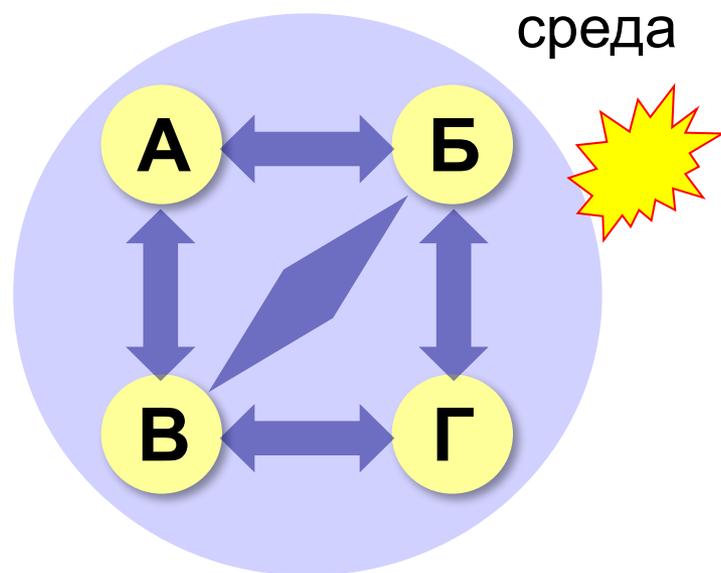
- управление в любых системах подчиняется одним и тем же законам
- управление связано с обменом информацией



Норберт Винер

Что такое система?

Система – это группа объектов и связей между ними, выделенных из среды и рассматриваемых как одно целое.



Примеры:

- общество
- семья
- экологическая система
- компьютер
- файловая система
- операционная система

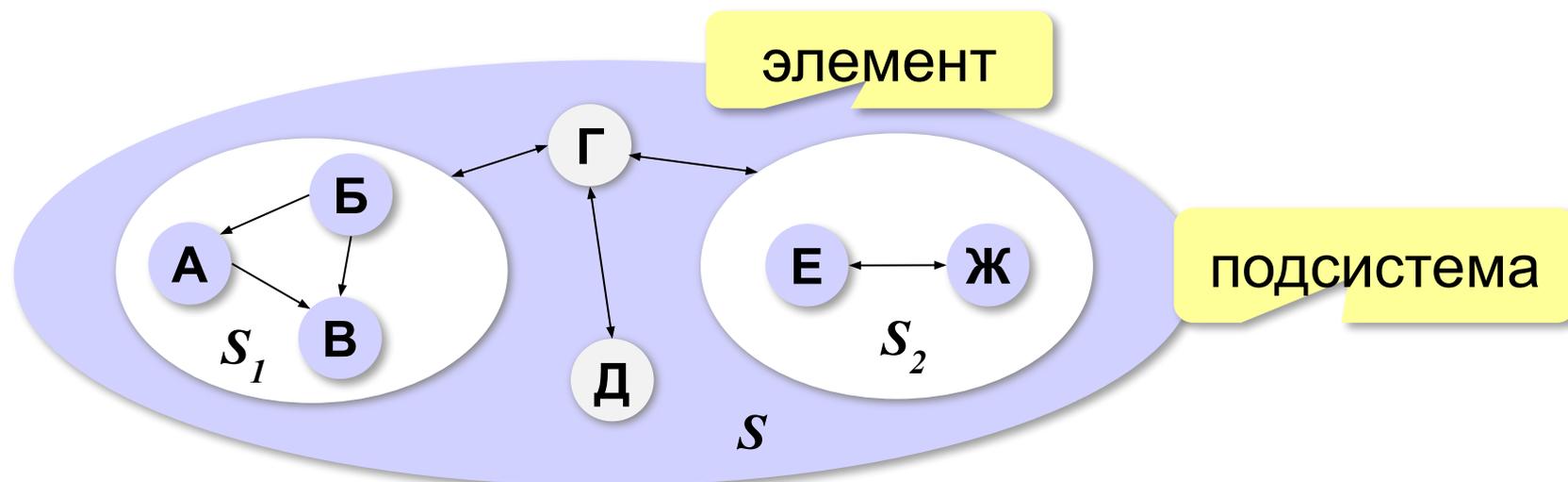
Системный эффект: свойства системы нельзя свести к «сумме» свойств ее компонентов.

самолёт летает!

Что такое система?

Свойства системы: компоненты + связи (алмаз, графит)

Подсистема: компонент-система.



Надсистема: система более высокого уровня.



Цель работы системы определяется надсистемой!

Системный анализ: изучение сложных систем на основе теории управления и теории информации.

Системы управления



Разомкнутая система – регулятор не получает информации о состоянии объекта (*программное управление*).

Примеры:

- водитель с завязанными глазами
- начальник, не проверяющий рабочих
- информационное табло на вокзале
- светофор



простота – не нужно датчиков



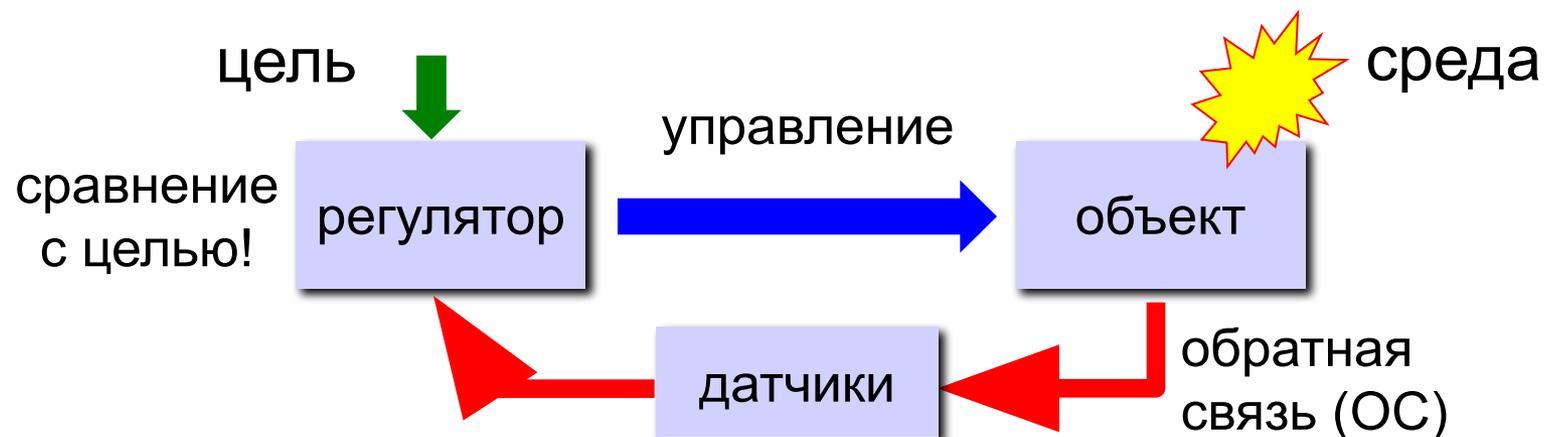
- нужна точная модель объекта
- нельзя учесть влияние среды



Неизвестно,
достигнута ли цель!

Системы с обратной связью

Замкнутая система – регулятор получает информации о состоянии объекта по каналу **обратной связи**.



- модель объекта может быть неточной
- можно учесть влияние среды



- усложнение системы (датчики)

Отрицательная ОС – регулятор уменьшает разницу между целью и состоянием объекта.

Типы систем управления

Автоматические – работают без участия человека.

Автоматизированные – собирают и обрабатывают информацию, а решения принимает человек.

Адаптивные – «подстраиваются» под изменение внешних условия или свойств объекта.

Информация и информационные процессы

§ 5. Информационное общество

Что такое информационное общество?

Прогресс в обработке информации:

- **письменность** (около 3000 лет до н.э., Египет)
- **книгопечатание** (X век – Китай, XV век – Европа)
- **средства связи** (телеграф, телефон, радио, телевидение; конец XIX – начало XX века);
- **компьютеры** (вторая половина XX века).

Информационное общество – это такая ступень развития цивилизации, на которой главными продуктами производства становятся информация и знания.

Информатизация

Информатизация – переход к информационному обществу:

- внедрение информационных технологий во все сферы жизни
- развитие компьютерных сетей, сотовой связи и т.п.
- необходимость компьютерной грамотности для всех
- свобода доступа к информации;
- доступность образования, в том числе дистанционного (через Интернет)
- изменение структуры экономики
- изменение уклада жизни людей

Информатизация

Негативные последствия:

- усиление влияния СМИ
- разрушается частная жизнь людей
- сложно выбрать качественные и достоверные данные
- личное общение людей заменяется общением в Интернете
- людям старшего поколения очень сложно приспособиться

Информационные ресурсы

Ресурсы – условия, позволяющие после некоторой «обработки» получить желаемый результат.

Информационные ресурсы – документы в библиотеках, архивах, банках данных, информационных системах.



товар!

Информационные услуги:

- поиск и подбор информации
- подбор персонала (кадровые агентства)
- обучение (учебные центры)
- рекламные агентства
- консультации, услуги по оптимизации бизнеса
- разработка программ и веб-сайтов

Информационные технологии

Технология – это способ сделать «продукт» из исходных материалов (с гарантированным результатом!).

Новые информационные технологии – это технологии, связанные с использованием компьютеров для хранения, защиты, обработки и передачи информации.

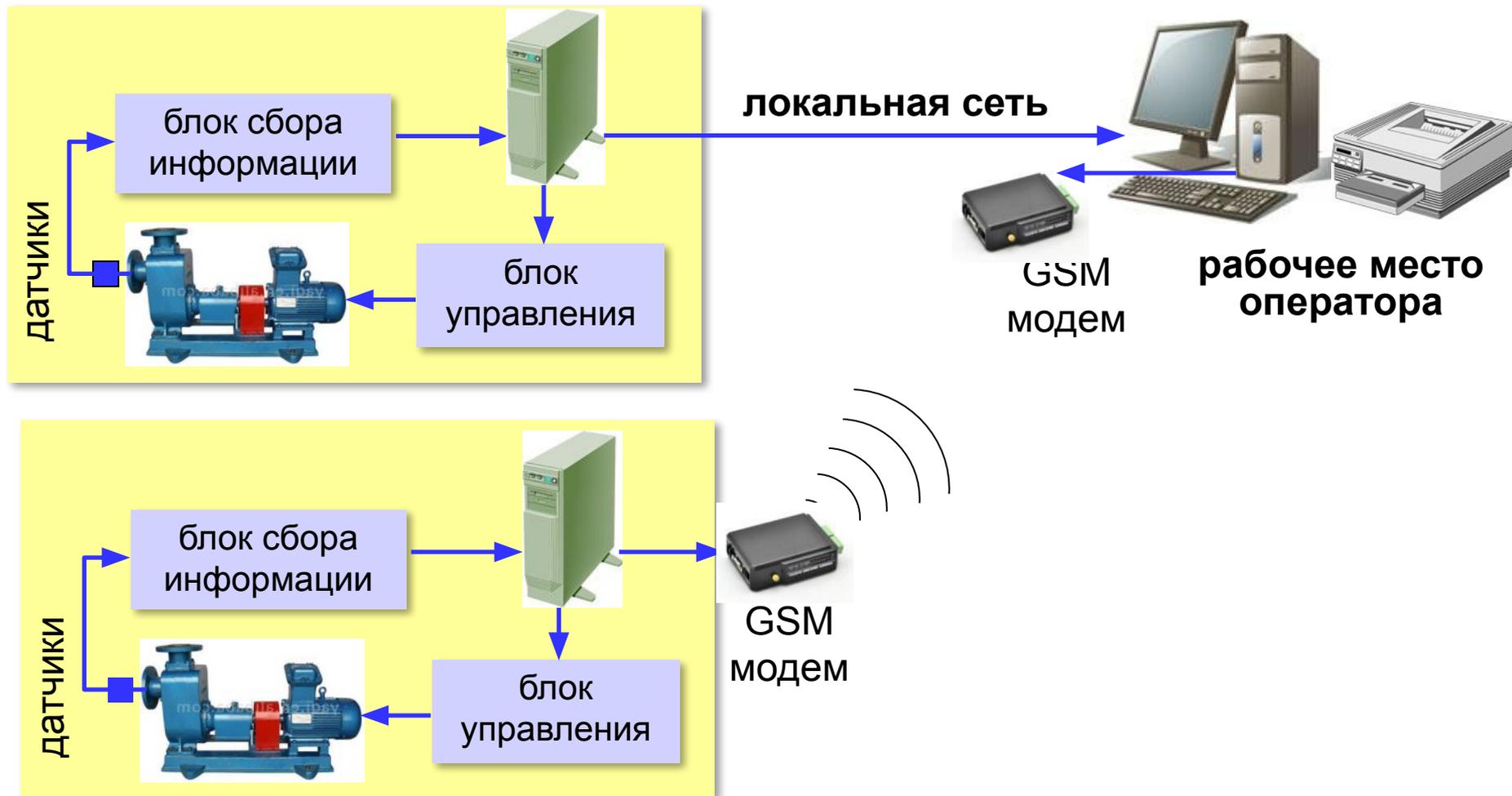
- подготовка документов в электронном виде
- поиск информации
- телекоммуникации (сети, Интернет, e-mail)
- автоматизированные системы управления (АСУ)
- системы автоматизированного проектирования (САПР)
- геоинформационные системы
- обучение (электронные учебники, компьютерные тренажеры, дистанционное обучение).

Автоматизированные системы управления



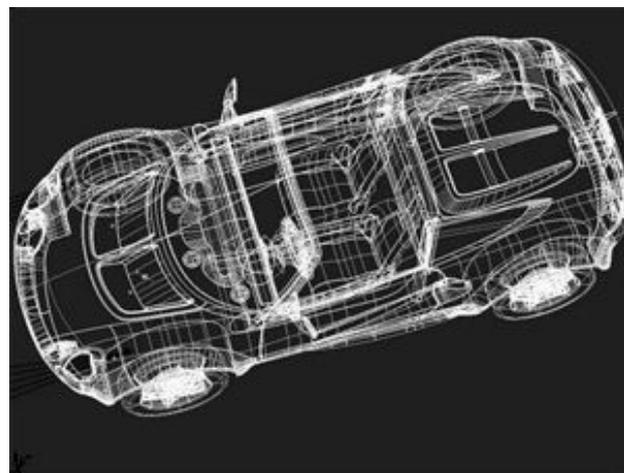
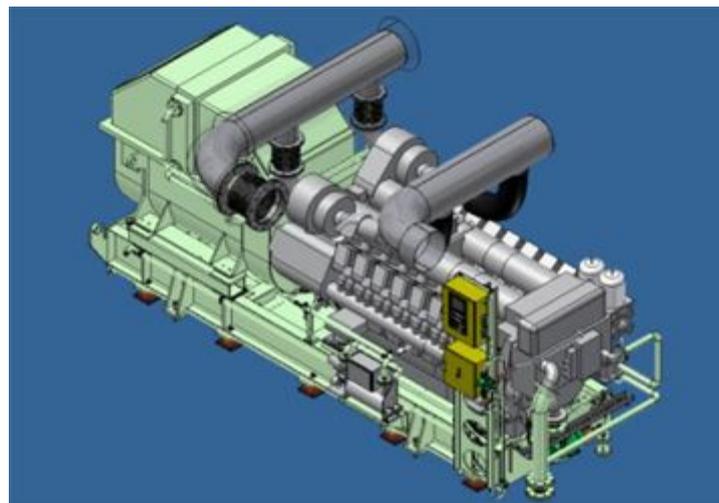
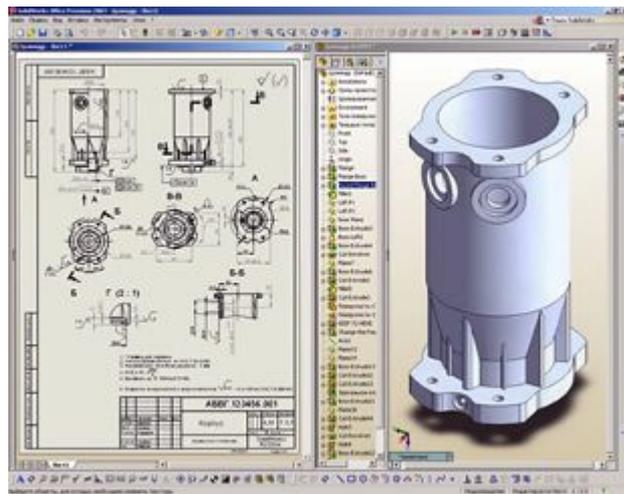
Автоматизированные системы управления

... технологическими процессами (АСУ ТП)

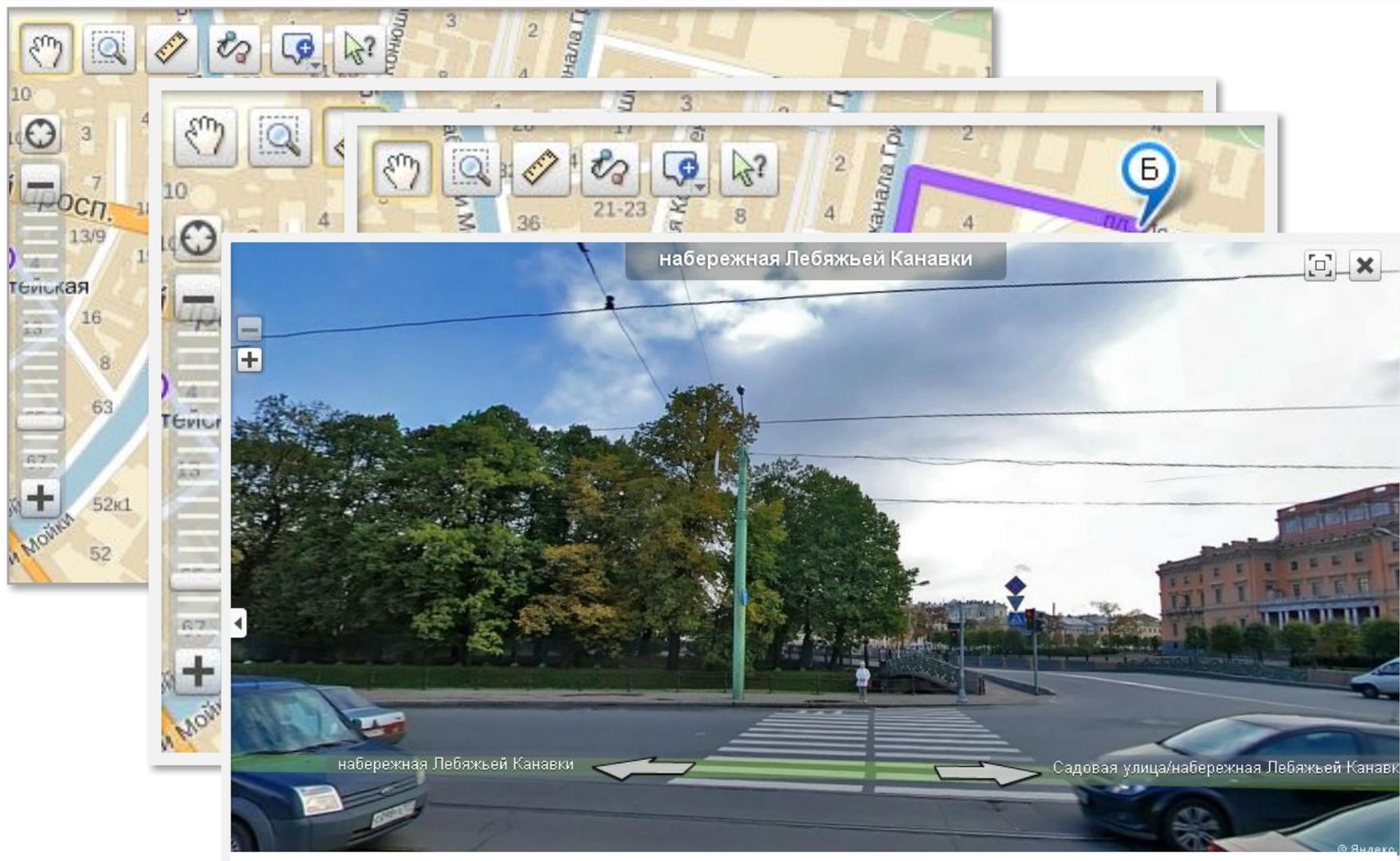


САПР

САПР – системы автоматизированного проектирования



Геоинформационные системы (ГИС)



Панорамы улиц

Дистанционное обучение

- видеолекции
- самостоятельная работа
- письменные задания
- работа с *тьютором* (наставником)
- консультации по Интернету



Дистанционное обучение

www.intuit.ru



www.edx.org

Гарвардский университет

Массачусетский технологический институт

www.coursera.org

33 университета

www.udacity.com

Стэнфордский университет

Университет Виргиния

www.khanacademy.org

Академия Хана

Компьютерные тренажёры



Информационная культура

Для **общества** – способность общества

- эффективно использовать информационные ресурсы и средства обмена информацией
- применять передовые достижения в области информационных технологий

Для **человека** – умение

- формулировать потребность в информации
- находить нужную информацию
- отбирать и анализировать информацию
- представлять информацию в разных видах;
- обрабатывать информацию
- использовать информацию для принятия решений



Нормы права и морали действуют по-прежнему!

Конец фильма

ПОЛЯКОВ Константин Юрьевич

д.т.н., учитель информатики

ГБОУ СОШ № 163, г. Санкт-Петербург

kpolyakov@mail.ru

ЕРЕМИН Евгений Александрович

к.ф.-м.н., доцент кафедры мультимедийной

дидактики и ИТО ПГГПУ, г. Пермь

eremin@pspu.ac.ru

Источники иллюстраций

1. www.newbeanbag.ru
2. compression.ru
3. maps.yandex.ru
4. ixbt.com
5. www.dinamika-avia.ru
6. www.transas.ru
7. crazypiter.ru
8. www.fotosearch.com
9. www.notebookcheck.net
10. www.energy2.ru
11. www.wlangdesign.com
12. www.1himplast.ru
13. www.applecad.com
14. gprs-modem.ru
15. en.wikipedia.org
16. nivo.co.za
17. иллюстрации художников издательства «Бином»
18. авторские материалы