

Теория информации

- Курсовая работа
- 1. Построить код Хаффмана для букв русского алфавита.
- 2. Выбрав ключи, закодировать фамилию, имя и отчество кодом Цезаря и далее, используя «квадрат» Виженера.
- 3. Используя код п.1 закодировать свои фамилию, имя и отчество, полученные из п.2.
- 4. Для двух заданных источников дискретных сообщений рассчитать энтропию объединения. (Индивидуальное задание по номеру в журнале).

Номер		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
1	$\frac{1}{2}$	0,5	0,25	0,125	0,125
2	$\frac{1}{4}$	0,5	0,125	0,25	0,125
3	$\frac{1}{4}$	0,5	0,125	0,125	0,25
4	$\frac{1}{8}$	0,25	0,5	0,125	0,125
5	$\frac{1}{8}$	0,125	0,5	0,25	0,125
6	$\frac{1}{8}$	0,125	0,5	0,125	0,25
7	$\frac{1}{16}$	0,25	0,125	0,5	0,125
8	$\frac{1}{16}$	0,125	0,25	0,5	0,125
9	$\frac{1}{16}$	0,125	0,125	0,5	0,25
10	$\frac{1}{16}$	0,25	0,125	0,125	0,5
11	$\frac{1}{16}$	0,125	0,25	0,125	0,5
12	$\frac{1}{16}$	0,125	0,125	0,25	0,5
13	$\frac{1}{16}$	0,25	0,25	0,25	0,25
14	$\frac{1}{16}$	0,625	0,125	0,125	0,125
15	$\frac{1}{16}$	0,125	0,625	0,125	0,125
16	$\frac{1}{16}$	0,125	0,125	0,625	0,125
17	$\frac{1}{16}$	0,125	0,125	0,125	0,625
18	$\frac{1}{32}$	0,375	0,25	0,25	0,125
19	$\frac{1}{32}$	0,375	0,25	0,125	0,25
20	$\frac{1}{32}$	0,375	0,125	0,25	0,25
21	$\frac{1}{32}$	0,25	0,375	0,25	0,125
22	$\frac{1}{32}$	0,25	0,375	0,125	0,25
23	$\frac{1}{32}$	0,125	0,375	0,25	0,25
24	$\frac{1}{32}$	0,25	0,25	0,375	0,125
25	$\frac{1}{32}$	0,25	0,125	0,375	0,25
26	$\frac{1}{32}$	0,125	0,25	0,375	0,25
27	$\frac{1}{32}$	0,25	0,25	0,125	0,375
28	$\frac{1}{32}$	0,25	0,125	0,25	0,375
29	$\frac{1}{32}$	0,125	0,25	0,25	0,375
30	$\frac{1}{32}$	0,375	0,375	0,125	0,125
31	$\frac{1}{32}$	0,375	0,125	0,375	0,125
32	$\frac{1}{32}$	0,375	0,125	0,125	0,375

Теория информации

Матрица условных вероятностей $P(X_i | Y_j)$

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Y_1	0,25	0,25	0,125	0,125	0,125	0,125
Y_2	0,25	0,125	0,25	0,125	0,125	0,125
Y_3	0,125	0,25	0,125	0,25	0,125	0,125
Y_4	0,125	0,125	0,25	0,125	0,25	0,125

Теория информации

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ:

1. История возникновения и развития информационных устройств.
2. История и современность в первичных способах кодирования сообщений.
3. Аналого-цифровые методы преобразований сигналов.
4. Информатизация современного общества.
5. Информационная безопасность, проблемы и пути решения.
6. Информационные технологии в медицине.
7. Информационные технологии в образовании.

**Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»
Кафедра «Общей теории связи»**

ОБРАЗЕЦ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПЕРВОЙ СТРАНИЦЫ

КУРСОВАЯ РАБОТА

Выполнил: студент группы (указать номер группы. Фамилию, имя и отчество не указывать, но написать:

Фамилия.....

Имя.....

Отчество.....

Фамилия имя и отчество будут заполняться при защите курсовой работы и декодировании выполненных заданий)

Проверил: (указать должность, фамилию имя и отчество преподавателя)

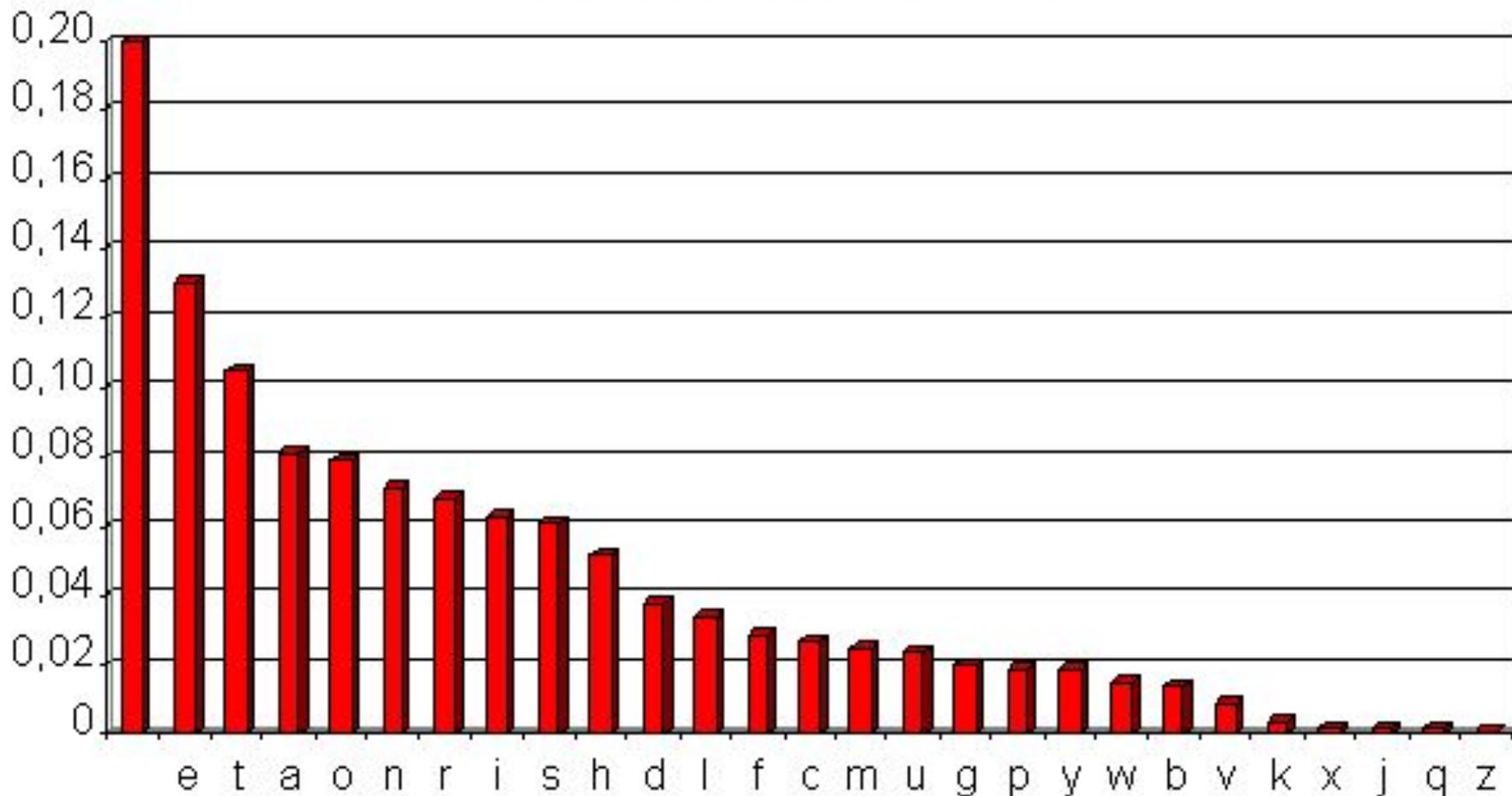
Москва. (указать год)

КУРСОВАЯ РАБОТА СОДЕРЖИТ:

- **Фамилия, Имя, Отчество в виде кодовой последовательности кодом Хаффмана**
.....
- **Ключ «Цезаря»**
.....
- **Ключ «Виженера»**
.....
- **Квадрат «Виженера»**
.....
- **Код Хаффмана (дерево и таблица).....**

Статистика букв (по убыванию)

Английского алфавита



Статистика букв (по алфавиту)

Диаграмма частоты использования букв алфавита в Английском языке



ПРОБЕЛ	E	T	A
0,166	0,110	0,087	0,068
O	N	R	I
0,066	0,060	0,056	0,052
S	H	D	L
0,051	0,045	0,033	0,029
F	C	M	U
0,025	0,023	0,021	0,019
G	Y	P	W
0,017	0,017	0,017	0,012
B	V	K	X
0,011	0,007	0,003	0,002
J	Q	Z	
0,001	0,001	0,001	

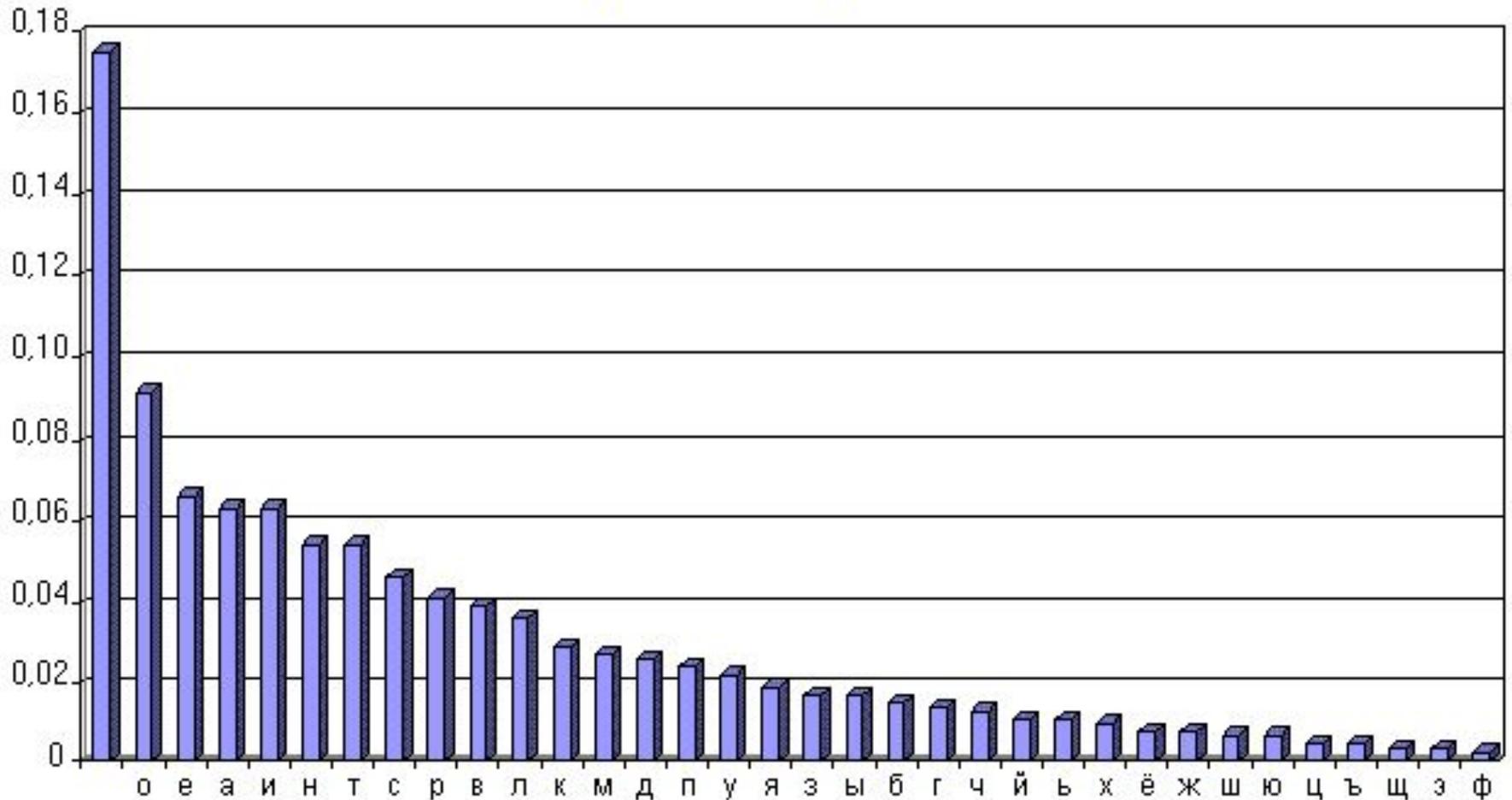
Последовательность построения дерева Хаффмана

1. $1(Q)+1(Z)=2(QZ)$
2. $1(J)+2(X)=3(JX)$
3. $2(QZ)+3(JX)=5(QZJX)$
4. $3(K)+5(QZJX)=8(KQZJX)$
5. $7(V)+8(KQZJX)=15(VKQZJX)$
6. $11(B)+12(W)=23(BW)$
7. $15(VKQZJX)+17(P)=32(VKQZJXP)$
8. $17(Y)+17(G)=34(YG)$
9. $19(U)+21(M)=40(UM)$
10. $23(C)+23(BW)=46(CBW)$
11. $25(F)+29(L)=54(FL)$
12. $32(VKQZJXP)+33(D)=65(VKQZJXPD)$
13. $34(YG)+40(UM)=74(YGUM)$
14. $45(H)+46(CBW)=91(HCBW)$
15. $51(S)+52(I)=103(SI)$
16. $54(FL)+56(R)=110(FLR)$
17. $60(N)+65(VKQZJXPD)=125(NVKQZJXPD)$
18. $66(O)+68(A)=134(OA)$
19. $74(YGUM)+87(T)=161(YGUMT)$
20. $91(HCBW)+103(SI)=194(HCBWSI)$
21. $110(E)+110(FLR)=220(EFLR)$
22. $125(NVKQZJXPD)+134(OA)=259(NVKQZJXPDOA)$
23. $161(YGUMT)+166(_)=327(YGUMT_)$
24. $194(HCBWSI)+220(EFLR)=414(HCBWSIEFLR)$
25. $259(NVKQZJXPDOA)+327(YGUMT_)=586(NVKQZJXPDOAYGUMT_)$
26. $414(HCBWSIEFLR)+586(NVKQZJXPDOAYGUMT_)=1000(HCBWSIEFLRNVKQZJXPDOAYGUMT_)$

ПРОБЕЛ	E	T	A
000	100	0010	0100
O	N	R	I
0101	0110	1010	1100
S	H	D	L
1101	1110	01110	10110
F	C	M	U
10111	11110	001100	001101
G	Y	P	W
001110	001111	011110	111110
B	V	K	X
111111	0111110	01111110	0111111100
J	Q	Z	
0111111101	0111111110	0111111111	

Статистика букв (по убыванию)

Русского алфавита



Статистика букв (по алфавиту)

Диаграмма частот использования букв алфавита для Русского языка



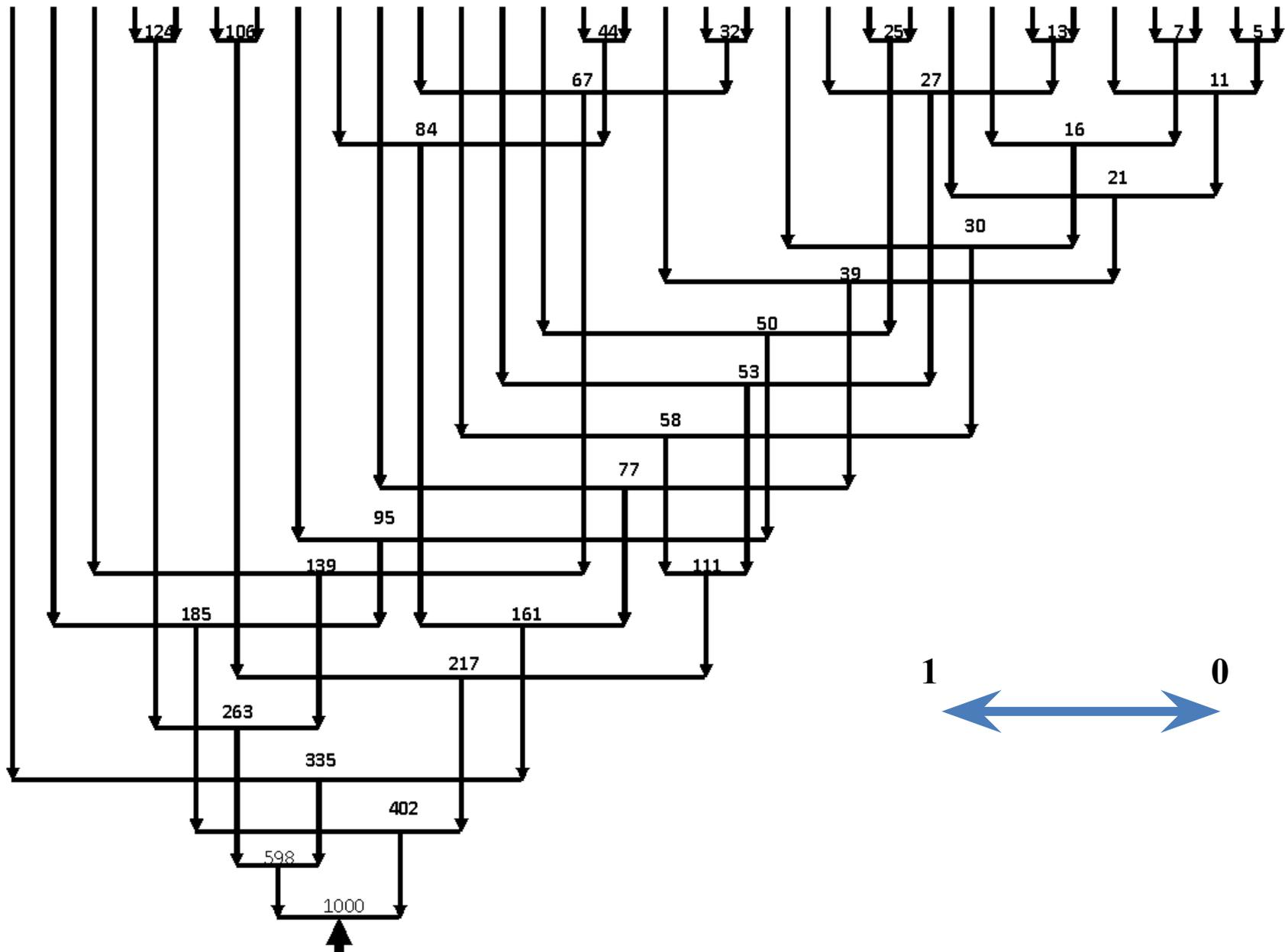
ПРОБЕЛ	О	Е,Ё	А
0,174	0,090	0,072	0,062
И	Т	Н	С
0,062	0,053	0,053	0,045
Р	В	Л	К
0,040	0,038	0,035	0,028
М	Д	П	У
0,026	0,025	0,023	0,021
Я	Ы	З	Ь,Ъ
0,018	0,016	0,016	0,014
Б	Г	Ч	Й
0,014	0,013	0,012	0,010
Х	Ж	Ю	Ш
0,009	0,007	0,006	0,006
Ц	Щ	Э	Ф
0,004	0,003	0,003	0,002

Последовательность построения дерева Хаффмана

1. $2(\Phi)+3(\Theta)=5(\Phi\Theta)$
2. $3(\Psi)+4(\Upsilon)=7(\Psi\Upsilon)$
3. $5(\Phi\Theta)+6(\Sigma)=11(\Phi\Theta\Sigma)$
4. $6(\Upsilon\Omega)+7(\Xi)=13(\Upsilon\Omega\Xi)$
5. $7(\Psi\Upsilon)+9(\Chi)=16(\Psi\Upsilon\Chi)$
6. $10(\Й)+11(\Phi\Theta\Sigma)=21(\Й\Phi\Theta\Sigma)$
7. $12(\Ч)+13(\Gamma)=25(\Ч\Gamma)$
8. $13(\Upsilon\Omega\Xi)+14(\Б)=27(\Upsilon\Omega\Xi\Б)$
9. $14(\Ъ-ь)+16(\Psi\Upsilon\Chi)=30(\Ъ-ь\Psi\Upsilon\Chi)$
10. $16(\Ы)+16(\З)=32(\ЫЗ)$
11. $18(\Ц)+21(\Й\Phi\Theta\Sigma)=39(\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma)$
12. $21(\У)+23(\П)=44(\УП)$
13. $25(\Д)+25(\Ч\Gamma)=50(\Д\Ч\Gamma)$
14. $26(\М)+27(\Upsilon\Omega\Xi\Б)=53(\М\Upsilon\Omega\Xi\Б)$
15. $28(\К)+30(\Ъ-ь\Psi\Upsilon\Chi)=58(\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)$
16. $35(\Л)+32(\ЫЗ)=67(\ЛЫЗ)$
17. $38(\В)+39(\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma)=77(\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma)$
18. $40(\Р)+44(\УП)=84(\Р\УП)$
19. $45(\С)+50(\Д\Ч\Gamma)=95(\С\Д\Ч\Gamma)$
20. $53(\Т)+53(\Н)=106(\ТН)$
21. $53(\М\Upsilon\Omega\Xi\Б)+58(\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)=111(\М\Upsilon\Omega\Xi\Б\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)$
22. $62(\А)+62(\И)=124(\АИ)$
23. $72(\Е-ё)+67(\ЛЫЗ)=139(\Е-ё\ЛЫЗ)$
24. $77(\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma)+84(\Р\УП)=161(\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma\Р\УП)$
25. $90(\О)+95(\С\Д\Ч\Gamma)=185(\О\С\Д\Ч\Gamma)$
26. $106(\ТН)+111(\М\Upsilon\Omega\Xi\Б\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)=217(\ТН\М\Upsilon\Omega\Xi\Б\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)$
27. $124(\АИ)+139(\Е-ё\ЛЫЗ)=263(\АИЕ-ё\ЛЫЗ)$
28. $161(\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma\Р\УП)+174(_) =335(\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma\Р\УП_)$
29. $185(\О\С\Д\Ч\Gamma)+217(\ТН\М\Upsilon\Omega\Xi\Б\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)=402(\О\С\Д\Ч\Gamma\ТН\М\Upsilon\Omega\Xi\Б\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)$
30. $263(\АИЕ-ё\ЛЫЗ)+335(\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma\Р\УП_)=598(\АИЕ-ё\ЛЫЗ\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma\Р\УП_)$
31. $402(\О\С\Д\Ч\Gamma\ТН\М\Upsilon\Omega\Xi\Б\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi)+598(\АИЕ-ё\ЛЫЗ\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma\Р\УП_)=1000(\О\С\Д\Ч\Gamma\ТН\М\Upsilon\Omega\Xi\Б\КЪ-ь\Psi\Upsilon\Chi\АИЕ-ё\ЛЫЗ\В\Ц\Й\Phi\Theta\Sigma\Р\УП_)$

174 90 72 62 62 53 53 45 40 38 35 28 26 25 23 21 18 16 16 14 14 13 12 10 9 7 6 6 4 3 3 2

П-Б О Е-Ё А И Т Н С Р В Л К М Д П У Ц Ы Э Ъ-Ь Б Г Ч Й Х Ж Ю Ш Ц Щ Э Ф



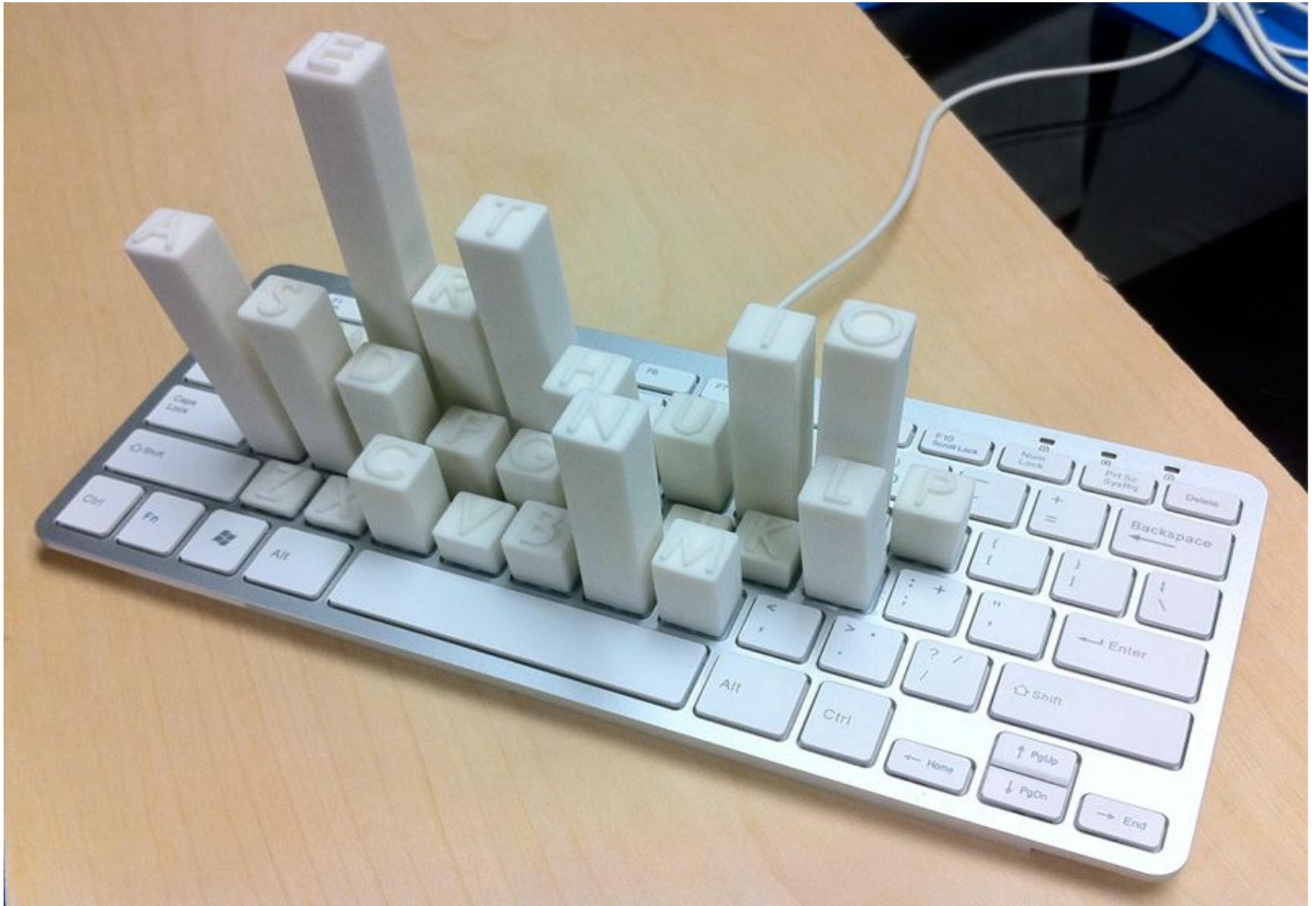
ПРОБЕЛ	А	Б	В
101	1111	000001	10001
Г	Д	Е,Ё	Ж
010001	01001	1101	0000001
З	И	Й	К
110000	1110	1010001	00011
Л	М	Н	О
11001	00001	0010	011
П	Р	С	Т
100101	10011	0101	0011
У	Ф	Х	Ц
100100	100000000	0001001	00010001
Ч	Ш	Щ	Ъ,Ь
010000	10000001	00010000	000101
Ы	Э	Ю	Я
110001	100000001	0000000	100001

Зависимости букв русского алфавита в открытом тексте от предыдущих букв исследовался известным русским математиком А. А. Марковым (1856 – 1922). Он доказал, что появления букв в открытом тексте нельзя считать независимыми друг от друга. В частности им были подсчитаны частоты встречаемости биграмм вида гласная-гласная (g, g), гласная-согласная (g, c), согласная-гласная (c, g), согласная-согласная (c, c) в русском тексте длиной в 10^5 знаков. Результаты подсчета отражены в следующей таблице:

	Гласная	Согласная	Итого
Гласная	6 588	38 310	44 898
Согласная	38 296	16 806	55 102

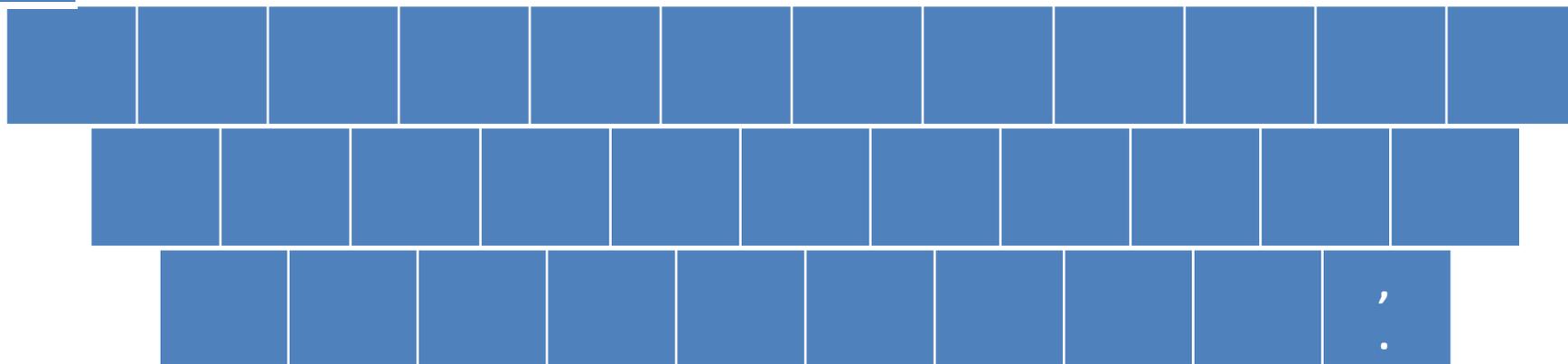
Вычисляемые по этой таблице условные и безусловные вероятности могут служить приближениями соответствующих условных и безусловных вероятностей, вычисленных на текстах большего объема. Было получено $p(g/c) \approx 0.663$, $p(c/g) \approx 0.872$ и $p(g) \approx 0.432$, $p(c) \approx 0.568$. (Сравните с данными из таблицы).

После А. А. Маркова зависимость появления букв текста исследовал методами теории информации К. Шеннон. Им было показано, в частности, что такая зависимость ощутима на глубину приблизительно в 30 знаков, после чего она практически отсутствует.



Спроектируем клавиатуру для русского языка!

Ё



Клавиатура для русского языка!

Ё

Й Ц У К Е Н Г Ш Щ З Х Ъ

Ф Ы В А П Р О Л Д Ж Э

Я Ч С М И Т Ь Б Ю ,

.

Переключатель зон красящей ленты

Клавиша пропуска границы поля

Рычаг установки и гашения табуляции

Клавиша возвратного шага

Клавиша замка регистра

Клавиша табулятора

Клавиши перевода регистра



Кодирование – это отображение элементов одного множества элементами другого множества



Оказавшись в Берне, профессор Плейшнер забыл код, которому его учил Штирлиц.



Этапы и виды отображений (преобразований)

Внешние факторы (помехи), изменяющие элементы множества B в B^*



$A = B$ Возможно однозначное соответствие, как правило взаимно однозначное. Избыточности нет.

$A > B$ Невозможно однозначное соответствие. Избыточности нет.

$A < B$ Возможно однозначное соответствие, как взаимно так и не взаимно однозначное. Имеется избыточность.

Цели кодирования

1. Первичное кодирование с целью достижения скорости кодирования равной энтропии источника (избыточность стремиться к 0).
2. Первичное кодирование по п.1, но и с целью минимизации искажений элементов множества A из-за искажений элементов множества B .
3. Не взаимно однозначное кодирование для достижения специальных целей.
4. Шифрование.
5. Кодирование для согласования с характеристиками среды передачи.
6. Помехоустойчивое кодирование (внесение избыточности)

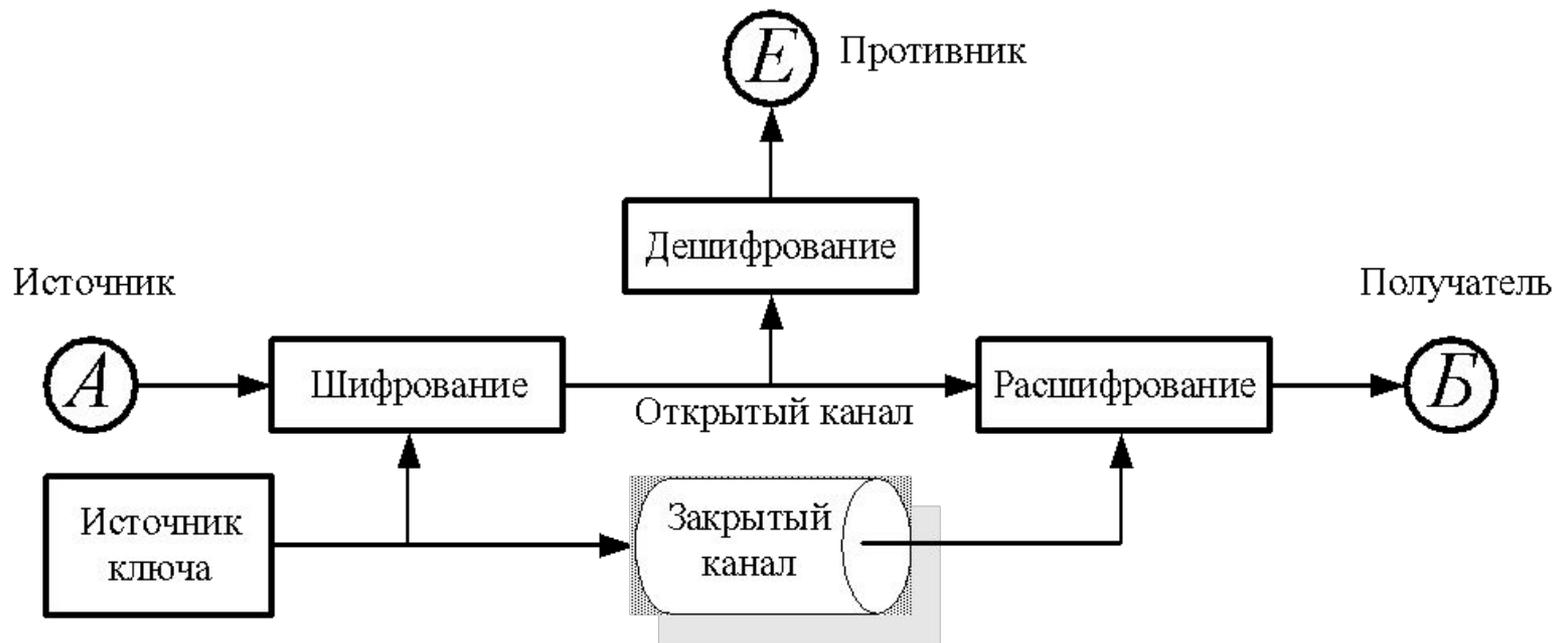
ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

- *Защита информации* базируется на криптографии и криптоанализе.
- *Криптография* – раздел прикладной математики, изучающий модели, алгоритмы, программные и аппаратные средства преобразования информации (шифрования) в целях сокрытия её содержания, предотвращения видоизменения или несанкционированного использования. Криптография дает возможность преобразовывать *сообщения* таким образом, что прочтение (восстановление) содержащейся в нем *информации* возможно только при знании *ключа*.
- *Криптоанализ* – это раздел прикладной математики, изучающий модели, методы, алгоритмы, программные и аппаратные средства анализа криптосистемы или её входных и выходных сигналов (дешифрования) с целью извлечения конфиденциальных параметров, включая открытый текст.
- Криптография и криптоанализ составляют основу – *криптологии*. В криптологии широко используются методы теории вероятностей, теории информации.

В качестве сообщений, подлежащих *шифрованию* и *расшифрованию*, рассматриваются *тексты*, построенные на некотором *алфавите*. *Алфавит* – конечное множество используемых при кодировании информации знаков. *Текст* – упорядоченный набор из элементов алфавита.

В качестве примеров алфавитов, используемых в современных информационных системах (ИС), можно привести следующие:

- Алфавит Z_2 – двоичный алфавит $\{0,1\}$;
- Алфавиты Z_8 и Z_{16} – восьмеричный и шестнадцатеричный алфавиты;
- Алфавит Z_{256} – символы, входящие в стандартные коды *ASCII* и *КОИ-8*;
- Алфавит Z_{33} – 32 буквы русского алфавита (исключая Ё) плюс 1 пробел.
- **И ПРОЧЕЕ**



Отправитель сообщений (А) и их получатель (Б) могут быть физическими лицами, организациями, какими-либо техническими системами. Иногда об А и Б говорят как об абонентах некоторой сети, о пользователях некоторой компьютерной системы или, еще более формально, как об абстрактных «сторонах» (англоязычный термин «party») или «сущностях» (entry), участвующих в информационном взаимодействии. Но чаще бывает удобно отождествлять участников обмена с некоторыми людьми и заменить формальные обозначения А и Б на *Алиса* и *Боб*.

Сообщения передаются по так называемому «открытому» каналу связи, доступному для прослушивания некоторым противником *Е*, назовем ее по имени *Ева*, имеющей мощную ЭВМ и владеющей методами криптоанализа.

Шифрование и расшифровывание с помощью кода Цезаря

Если n - количество букв в алфавите, x_i - номер буквы из открытого текста, k - ключ (целое число), то зашифрованная буква по коду Цезаря имеет номер:

$$y_i = x_i + k \pmod{n},$$

при расшифровывании:

$$x_i = y_i - k \pmod{n}.$$

Например, при $k = 2$ буква «А» станет «Г», а буква «Ю» - «Б».

Взлом кода Цезаря (слово «МЕЬКЧ»)

Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово
1		9		17		25	
2		10		18		26	
3		11		19		27	
4		12		20		28	
5		13		21		29	
6		14		22		30	
7		15		23		31	
8		16		24		32	

Взлом кода Цезаря (слово «МЕЬКЧ»)

Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово
1	Л	9	Г	17	Ы	25	У
2	К	10	В	18	Ь	26	Т
3	Й	11	Б	19	Щ	27	С
4	И	12	А	20	Ш	28	Р
5	З	13	Я	21	Ч	29	П
6	Ж	14	Ю	22	Ц	30	О
7	Е	15	Э	23	Х	31	Н
8	Д	16	Ь	24	Ф	32	М

Взлом кода Цезаря (слово «МЕЬКЧ»)

Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово
1	ЛД	9	ГЬ	17	Ы	25	УМ
2	КГ	10	ВЫ	18	Ь	26	ТЛ
3	ЙВ	11	БЪ	19	ЩТ	27	СК
4	ИБ	12	АЩ	20	ШС	28	РЙ
5	ЗА	13	ЯШ	21	ЧР	29	ПИ
6	ЖЯ	14	ЮЧ	22	ЦП	30	ОЗ
7	ЕЮ	15	ЭЦ	23	ХО	31	НЖ
8	ДЭ	16	Ь	24	ФН	32	МЕ

Взлом кода Цезаря (слово «МЕЬКЧ»)

Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово
1	ЛДЫ	9	ГЬ	17	Ы	25	УМГ
2	КГ	10	ВЫТ	18	Ъ	26	ТЛВ
3	ЙВ	11	БЪ	19	ЩТ	27	СКБ
4	ИБШ	12	АЩ	20	ШС	28	РЙ
5	ЗАЧ	13	ЯШП	21	ЧРЗ	29	ПИЯ
6	ЖЯ	14	ЮЧ	22	ЦП	30	ОЗЮ
7	ЕЮ	15	ЭЦ	23	ХОЕ	31	НЖ
8	ДЭФ	16	Ь	24	ФН	32	МЕЬ

Взлом кода Цезаря (слово «МЕЬКЧ»)

Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово
1	ЛДЫ	9	ГЬ	17	Ы	25	УМГ
2	КГ	10	ВЫТА	18	Ь	26	ТЛВ
3	ЙВ	11	БЪ	19	ЩТ	27	СКБ
4	ИБШ	12	АЩ	20	ШС	28	РЙ
5	ЗАЧЕ	13	ЯШП	21	ЧРЗ	29	ПИЯН
6	ЖЯ	14	ЮЧ	22	ЦП	30	ОЗЮ
7	ЕЮ	15	ЭЦ	23	ХОЕ	31	НЖ
8	ДЭФ	16	Ь	24	ФН	32	МЕЬ

Взлом кода Цезаря (слово «МЕЬКЧ»)

Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово	Ключ	Слово
1	ЛДЫ	9	ГЬ	17	Ы	25	УМГ
2	КГ	10	ВЫТА	18	Ъ	26	ТЛВ
3	ЙВ	11	БЪ	19	ЩТ	27	СКБ
4	ИБШ	12	АЩ	20	ШС	28	РЙ
5	ЗАЧЕТ	13	ЯШП	21	ЧРЗ	29	ПИЯНЬ
6	ЖЯ	14	ЮЧ	22	ЦП	30	ОЗЮ
7	ЕЮ	15	ЭЦ	23	ХОЕ	31	НЖ
8	ДЭФ	16	Ь	24	ФН	32	МЕЬ

Шифрование и расшифровывание с помощью квадрата Виженера

Передается:

ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ

Ключевое слово:

МТУСИ

Зашифрованная последовательность:

Исходн.	т	е	о	р	и	я	_	и	н	ф	о	р	м	а	ц	и	и
Ключ	м	т	у	с	и	м	т	у	с	и	м	т	у	с	и	м	т
Шифр	х	л	й	й	т	а	р	ю	х	ж	д	ф	э	р	х	о	д

Шифрование и расшифровывание с помощью квадрата Виженера

При расшифровывании по буквам ключа берутся строки из «квадрата» и в них находится буква зашифрованной последовательности.

Затем по «столбику» определяется расшифрованная буква. В итоге имеем:

Ключ	м	т	у	с	и	м	т	у	с	и	м	т	у	с	и	м	т
Шифр	х	л	й	й	т	а	р	ю	х	ж	д	ф	э	р	х	о	д
Исходн.	т	е	о	р	и	я	_	и	н	ф	о	р	м	а	ц	и	и

Нату р. Код (1)	000	001	010	011	100	101	110	111	Итог о
3, 2, 1	4;2;1	4;2;1	4;2;1	4;2;1	4;2;1	4;2;1	4;2;1	4;2;1	$4 \times 8 + 2 \times 8 + 1 \times 8 = 56$
3-2, 2-1, 3-1	6;3;5	6;1;3	2;1;5	2;3;3	2;3;3	2;1;5	6;1;3	6;3;5	$6 \times 4 + 5 \times 4 + 3 \times 8 + 2 \times 4 + 1 \times 4 = 80$
321	7	5	3	1	1	3	5	7	$7 \times 2 + 5 \times 2 + 3 \times 2 + 1 \times 2 = 32$

Код Грея (2)	000	001	011	010	110	111	101	100	Итого
3, 2, 1	7, 3, 1	5, 1, 1	3, 1, 1	1, 3, 1	1, 3, 1	3, 1, 1,	5, 1, 1,	7, 3, 1	$7 \times 2 + 5 \times 2 + 3 \times 6 + 1 \times 14 = 56$
3-2, 2-1, 3-1	4, 2, 6	4, 2, 6	4, 2, 2	4, 2, 2	4, 2, 2	4, 2, 2,	4, 2, 6	4, 2, 6	$6 \times 4 + 4 \times 8 + 2 \times 12 = 80$
321	5	3	5	3	3	5	3	5	$5 \times 4 + 3 \times 4 = 32$

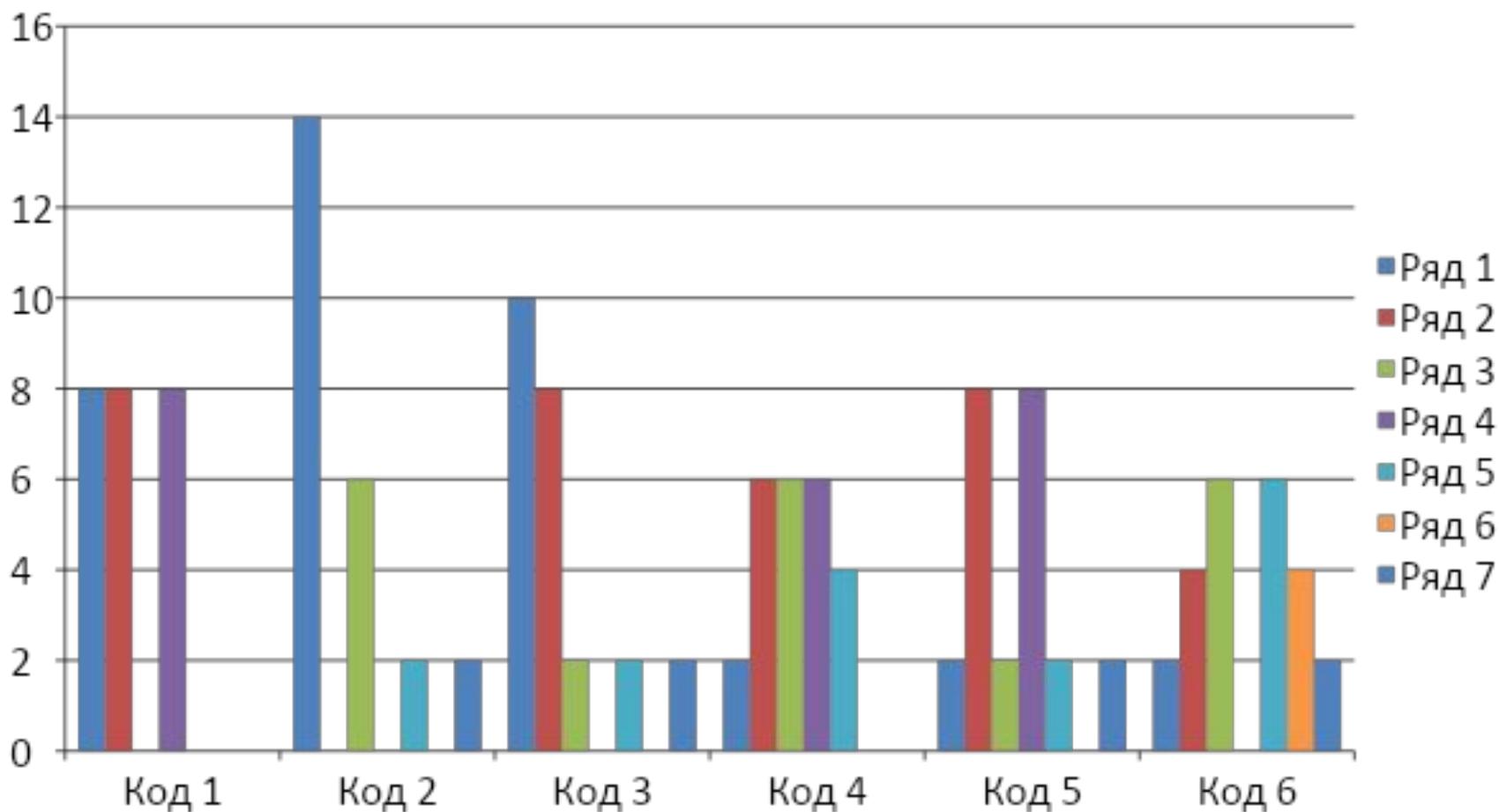
Код в ИКМ (3)	011	010	001	000	100	101	110	111	Итого
3, 2, 1	7, 2, 1	5, 2, 1	3, 2, 1	1, 2, 1	1, 2, 1	3, 2, 1	5, 2, 1	7, 2, 1	$7 \times 2 +$ $5 \times 2 +$ $3 \times 2 +$ $2 \times 8 +$ $1 \times 10 =$ 56
3-2, 2-1, 3-1	5, 3, 6	3, 1, 6	5, 1, 2	3, 3, 2	3, 3, 2	5, 1, 2	3, 1, 6	5, 3, 6	$6 \times 4 +$ $5 \times 4 +$ $3 \times 8 +$ $2 \times 4 +$ $1 \times 4 =$ 80
321	4	4	4	4	4	4	4	4	$4 \times 8 =$ 32

Случ. код (4)	000	011	111	001	100	010	101	110	Итого
3, 2, 1	4, 5, 3	1, 2, 4	1, 4, 5	3, 2, 3	4, 3, 2	2, 5, 4	3, 4, 2	2, 3, 5	$5 \times 4 +$ $4 \times 6 +$ $3 \times 6 +$ $2 \times 6 +$ $1 \times 2 =$ 76
3-2, 2-1, 3-1	7, 1, 6	5, 1, 6	1, 2, 3	1, 2, 1	1, 2, 1	1, 2, 3	5, 1, 6	7, 1, 6	$7 \times 2 +$ $6 \times 4 +$ $5 \times 2 +$ $3 \times 2 +$ $2 \times 4 +$ $1 \times 10 =$ 72
321	2	3	2	4	3	1	1	4	$4 \times 2 +$ $3 \times 2 +$ $2 \times 2 +$ $1 \times 2 =$ 20

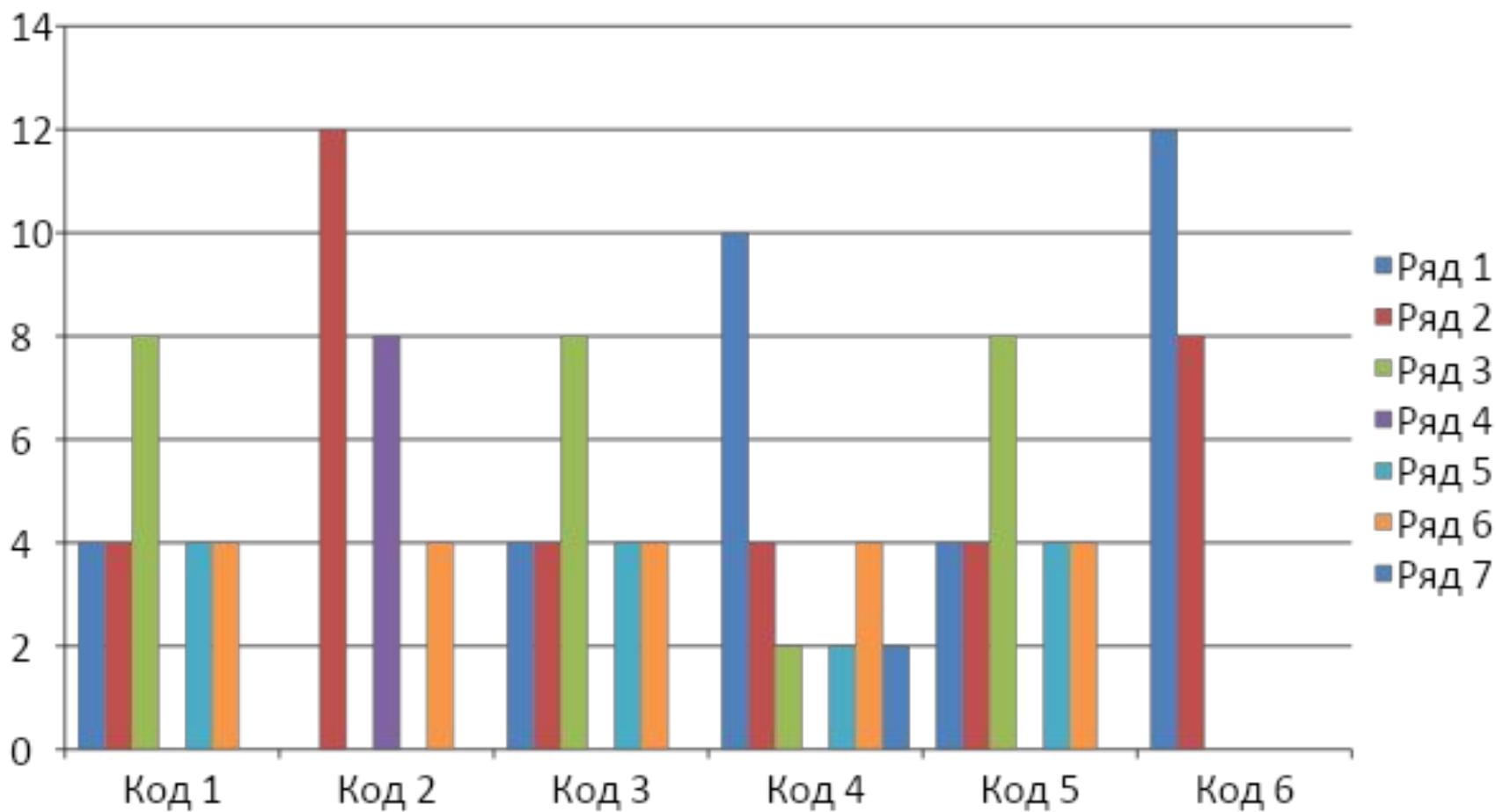
Код Ми 3 (5)	000	111	001	110	010	101	011	100	Итого
3, 2, 1	7, 4, 2	5, 4, 2	3, 4, 2	1, 4, 2	1, 4, 2	3, 4, 2	5, 4, 2	7, 4, 2	$7 \times 2 +$ $5 \times 2 +$ $4 \times 8 +$ $3 \times 2 +$ $2 \times 8 +$ $1 \times 2 =$ 80
3-2, 2-1, 3-1	3, 6, 5	1, 6, 3	1, 2, 5	3, 2, 3	3, 2, 3	1, 2, 5	1, 6, 3	3, 6, 5	$6 \times 4 +$ $5 \times 4 +$ $3 \times 8 +$ $2 \times 4 +$ $1 \times 4 =$ 80
321	1	1	1	1	1	1	1	1	$1 \times 8 =$ 8

Код Ми 2 (6)	000	110	011	101	111	001	100	010	
3, 2, 1	6, 7, 5	6, 5, 3	2, 3, 5	2, 1, 3	2, 1, 3	2, 3, 5	6, 5, 3	6, 7, 5	$7 \times 2 +$ $6 \times 4 +$ $5 \times 6 +$ $3 \times 6 +$ $2 \times 4 +$ $1 \times 2 =$ 96
3-2, 2-1, 3-1	1, 2, 3	1, 2, 1	1, 2, 1	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 1	1, 2, 1	1, 2, 3	$3 \times 4 +$ $2 \times 8 +$ $1 \times 12 =$ 40
321	4	4	4	4	4	4	4	4	$4 \times 8 =$ 32

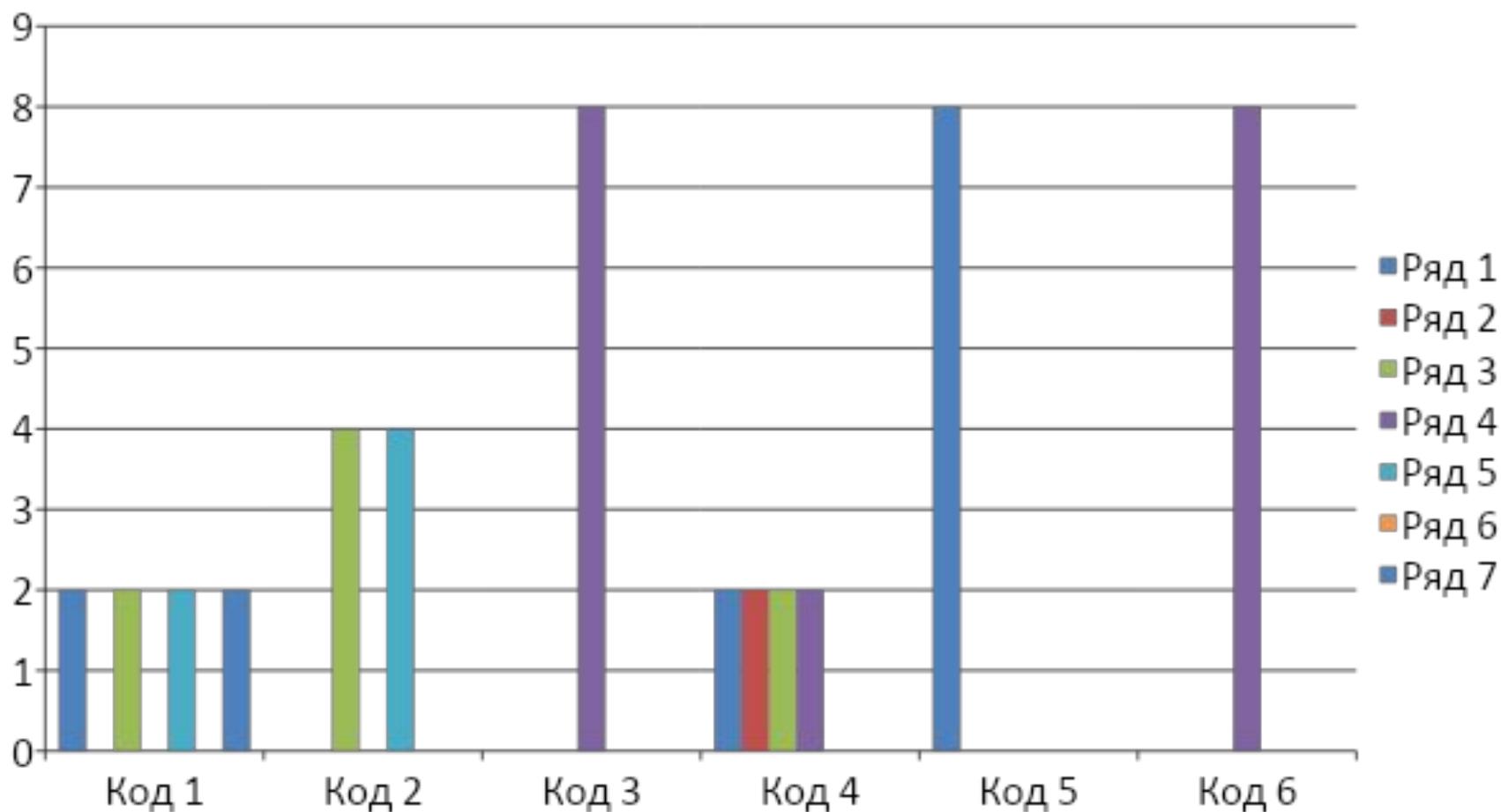
Код	1	2	3	4	5	6
Итого 1-кр	56	56	56	76	80	96



Код	1	2	3	4	5	6
Итого 2-кр	80	80	80	72	80	40



Код	1	2	3	4	5	6
Итого 3-кр	32	32	32	20	8	32



При неизменной общей сумме искажений равной 168 из-за 1-кратных, 2-кратных и 3-кратных ошибок и среди $M=(2^n)!=(2^3)!=40\ 320$ способов кодирования имеем:

Код	1	2	3	4	5	6
1-кр	56	56	56	76	80	96
2-кр	80	80	80	72	80	40
3-кр	32	32	32	20	8	32

Для натурального (взвешенного) кода следующие таблицы кодовых расстояний:

- При $n=1$ имеем комбинации 0 и 1.
Для них: $D_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$
- При $n=2$ имеем комбинации 00; 01; 10 и 11.

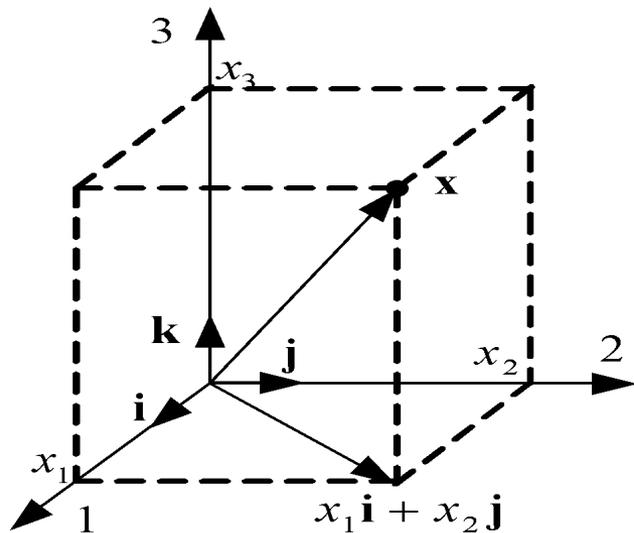
Для них: $D_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$

- В общем виде имеем: $D_n = \begin{pmatrix} D_{n-1} & D_{n-1} + J \\ D_{n-1} + J & D_{n-1} \end{pmatrix},$

где $J = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}$

- Матрица потерь $L_n = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & l_{nn} \end{pmatrix}$

- Средние потери $\bar{L} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n p_i \times l_{i;j} \times p_j (a_j^*/a_i)$



$$\mathbf{x} = x_1 \mathbf{i} + x_2 \mathbf{j} + x_3 \mathbf{k}$$

$$\mathbf{X} = \{x_1, x_2, x_3\}$$

Метрическое пространство. Пусть задано множество X произвольных элементов x – векторов сигнального пространства. Множество X называется *метрическим пространством*, если для каждой двух произвольных элементов x, y этого множества введена неотрицательная функция $d(x, y)$, называемая *метрикой* или *расстоянием*, которая удовлетворяет следующим аксиомам:

а) $d(x, y) > 0, d(x, y) = 0$ только тогда, когда $x = y$;

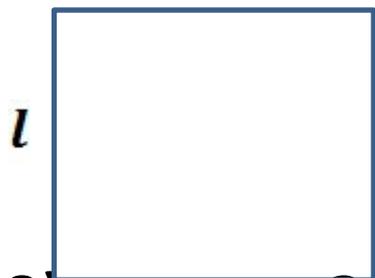
б) $d(x, y) = d(y, x)$ - аксиома симметрии;

в) $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ - аксиома неравенства треугольника для расстояния.

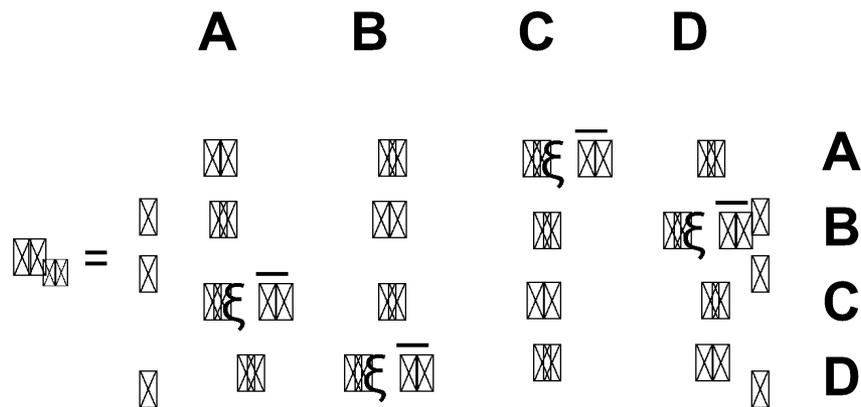
Матрица потерь:

$$L_n = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{n1} & l_{n2} & \dots & l_{nn} \end{pmatrix}$$

A=(00) l B=(01)



D=(10) C=(11)



Матрица потерь для светофора

	КРАСНЫ Й	ЖЕЛТЫЙ	ЗЕЛЕНЫ Й
КРАСНЫ Й	НЕТ 0	СРЕДНИ Е 100	БОЛЬШИ Е 1000
ЖЕЛТЫЙ	МАЛЫЕ 10	НЕТ 0	СРЕДНИ Е 100
ЗЕЛЕНЫ		МАЛЫЕ	НЕТ