

Учебно-исследовательская работа

«Методы кодирования в компьютерных сетях»

1. Цель и краткая характеристика работы

Цель работы: изучение методов физического и логического кодирования, используемых в цифровых сетях передачи данных и исследование влияния свойств канала связи на качество передачи сигналов при различных методах физического и логического кодирования.

В процессе выполнения учебно-исследовательской работы (УИР) необходимо:

- выполнить физическое и логическое кодирование исходного сообщения не менее, чем тремя методами кодирования, выбрав из множества: NRZ, RZ, AMI, MLT-3, NRZI и Manchester 2, и рассчитать частотные характеристики сигналов, используемых для передачи исходного сообщения, а также требуемую полосу пропускания канала связи;
- провести сравнительный анализ рассмотренных методов кодирования, выявить и сформулировать достоинства и недостатки;
- выбрать наилучший метод для передачи исходного сообщения;
- для заданного исходного сообщения и одного из трех методов кодирования (NRZ, RZ и Manchester) выполнить исследование качества передачи физических сигналов по каналу связи в зависимости от уровня помех и шумов в канале, степени рассинхронизации передатчика и приёмника и уровня граничного напряжения (которое можно трактовать как уровень сигнала, при котором невозможно однозначно идентифицировать значения передаваемых двоичных сигналов);
- выбрать и обосновать наилучший метод для передачи исходного сообщения по реальному каналу связи с учетом затухания, шумов в канале и рассинхронизации.

Часть 1. Методы физического и логического кодирования

2. Этапы выполнения работы

Этап 1. Формирование сообщения

В качестве исходного сообщения, подлежащего передаче, используются **инициалы студента (ФИО)**, выполняющего задание. Для цифрового представления сообщения используются шестнадцатеричные коды в соответствии с кодировочной таблицей (см. таблицу 1).

Записать исходное сообщение в шестнадцатеричном и двоичном кодах. Определить длину сообщения.

Таблица 1

Сим-вол	Код	Сим-вол	Код	Сим-вол	Код	Сим-вол	Код	Сим-вол	Код
А	C0	Р	D0	а	E0	р	F0	пробел	20
Б	C1	С	D1	б	E1	с	F1	,	2C
В	C2	Т	D2	в	E2	т	F2	.	2E
Г	C3	У	D3	г	E3	у	F3	0	30
Д	C4	Ф	D4	д	E4	ф	F4	1	31
Е	C5	Х	D5	е	E5	х	F5	2	32
Ж	C6	Ц	D6	ж	E6	ц	F6	3	33
З	C7	Ч	D7	з	E7	ч	F7	4	34
И	C8	Ш	D8	и	E8	ш	F8	5	35
Й	C9	Щ	D9	й	E9	щ	F9	6	36
К	CA	Ъ	DA	к	EA	ъ	FA	7	37
Л	CB	Ы	DB	л	EB	ы	FB	8	38
М	CC	Ь	DC	м	EC	ь	FC	9	39
Н	CD	Э	DD	н	ED	э	FD		
О	CE	Ю	DE	о	EE	ю	FE		
П	CF	Я	DF	п	EF	я	FF		

Пример:

исходное сообщение:

ФИО

в шестнадцатеричном коде:

D4 C8 CE

в двоичном коде: 11010100 11001000 11001110

длина сообщения:

3 байта (24 бит)

Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

Выполнить физическое кодирование исходного сообщения с использованием манчестерского кодирования и ещё любых двух способов кодирования.

Результаты кодирования изобразить **в виде временных диаграмм**.

Полагая, что пропускная способность канала связи равна 100 Мбит/с, для каждого способа кодирования определить:

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Провести сравнительный анализ рассмотренных способов кодирования, определить достоинства и недостатки. На основе результатов анализа выбрать наилучший способ кодирования для передачи исходного сообщения и обосновать этот выбор.

Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

Выполнить логическое кодирование исходного сообщения по методу 4В/5В для одного из методов физического кодирования. Записать полученное сообщение в двоичном и шестнадцатеричном кодах.

Определить длину нового сообщения и его избыточность.

Результаты кодирования изобразить в виде временной диаграммы.

Определить (полагая, что пропускная способность канала связи равна 100 Мбит/с или 1 Гбит/с):

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Сравнить полученные значения со значениями, рассчитанными для исходного физического кода.

Этап 4. Скремблирование исходного сообщения

Выбрать из представленных ниже полиномов или *предложить другой полином* для скремблирования исходного сообщения и обосновать этот выбор:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5};$$

$$B_i = A_i \oplus B_{i-5} \oplus B_{i-7}.$$

Выполнить скремблирование исходного сообщения для выбранного на этапе 3 метода физического кодирования.

Записать полученное скремблированное сообщение в двоичном и шестнадцатеричном кодах и изобразить в виде временных диаграмм.

Определить (полагая, что пропускная способность канала связи равна 100 Мбит/с или 1 Гбит/с):

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Сравнить полученные значения со значениями, рассчитанными для исходного физического кода.

Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

Провести обобщенный сравнительный анализ результатов, полученных на этапах 2, 3 и 4, и представить результаты сравнения в виде сводной таблицы.

Часть 2. Передача кодированного сообщения по каналу связи

Этап 6. Определение минимальной полосы пропускания идеального канала связи

Для исследования качества передачи исходного сообщения (сигналов) по каналу связи используется программа «Network Fourier 2.1», описание которой представлено в файле **«Network Fourier-описание»**.

Минимально требуемая полоса пропускания канала связи для качественной передачи сообщения (двоичного сигнала) определяется для *идеального* канала, в котором:

- отсутствуют шумы и помехи, искажающие форму сигнала;
- передатчик и приёмник сигналов абсолютно синхронизированы, т.е. между ними нет рассинхронизации;
- сигналы не затухают и нет необходимости устанавливать какой-то уровень граничного напряжения, позволяющего различить единичный и нулевой сигнал.

Для этого необходимо установить нулевые значения уровней: шумов (Noise), рассинхронизации (Desync) и граничного напряжения (Voltage) .

Затем в поле «Enter message» ввести исходное сообщение. В качестве исходного сообщения используется, как и ранее, три байта ФИО студента, выполняющего данное задание.

Указание. Символы исходного сообщения вводятся в *шестнадцатеричном* виде в *обратном порядке*, т.е. вначале вводится шестнадцатеричный код третьего байта, затем – второго и первого. В качестве признака шестнадцатеричного кода перед вводимым сообщением необходимо **поставить символ «\» (обратный слэш)**.

Последовательно изменяя значения нижней и верхней гармоник спектра сигнала, определить граничные значения, при которых сообщение передается без ошибок. Соответствующие им значения частот представляют собой нижнюю и верхнюю границы, определяющие минимальную полосу пропускания канала связи.

Этап 7. Определение максимально допустимых уровней шумов, рассинхронизации и затухания

На этом этапе последовательно определяются максимально допустимые уровни шумов, рассинхронизации и затухания, при которых сохраняется качественная передача сообщения, т.е. не наблюдается возникновение ошибок.

Вначале изменяется уровень шумов (Noise) и определяется максимально допустимый уровень шумов, при котором исходное сообщение передается без ошибок. При этом значения уровней рассинхронизации и граничного напряжения должны быть нулевыми.

Затем уровень шумов устанавливается в нулевое значение и изменяется уровень рассинхронизации (Desync) и определяется максимально допустимый уровень рассинхронизации, при котором исходное сообщение будет принято без ошибок.

Затем уровень рассинхронизации устанавливается в нулевое значение и изменяется уровень граничного напряжения (Voltage) и определяется максимально допустимый уровень граничного напряжения, при котором исходное сообщение передается без ошибок.

Этап 8. Оценка достоверности распознавания сигналов на приемном конце

На этом этапе определяется процент ошибок при передаче сообщения при найденных на предыдущем этапе значениях уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения и минимальной полосы пропускания канала связи.

Установить найденные на предыдущем этапе максимально допустимые значения уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения и определить процент ошибок на приемном конце канала связи.

Указание. Этапы 6–8 последовательно выполняются для методов физического (NRZ, RZ и Manchester 2) и логического кодирования (NRZ). Полученные значения заносятся в Таблицу 2.

Этап 9. Определение значений уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для реального канала связи

Рассчитать значения уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для реального канала связи как *средние значения по всем рассмотренным методам кодирования.*

Этап 10. Определение требуемой полосы пропускания реального канала связи

Требуемая полоса пропускания реального канала связи определяется из условия, что передача сообщения должна происходить без потерь при рассчитанных уровнях шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для всех рассмотренных методов кодирования.

Установить рассчитанные значения уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения для реального канала связи.

Последовательно изменяя значения порядкового номера нижней гармоники от нуля и верхней гармоники от максимального значения (255) спектра сигнала, определить граничные значения, при которых сообщение передается без ошибок по реальному каналу связи. Соответствующие им значения частот определяют требуемую полосу пропускания канала связи при рассматриваемом методе кодирования.

***Указание.** Этот пункт выполняется для тех же методов физического и логического кодирования. Полученные значения занести в таблицу результатов.*

Этап 11. Анализ полученных результатов и выбор наилучшего способа кодирования исходного сообщения

Проанализировать полученные результаты и выбрать наилучший способ физического кодирования для передачи исходного сообщения по реальному каналу связи при заданных значениях уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения, аргументировано обосновав это выбор.

Таблица 2

Шестнадцатеричный код сообщения:			Метод кодирования				
			NRZ	RZ	M2	4B/5B	Scramb
Полоса пропускания идеального канала связи	Номера гармоник	min					
		max					
	Частоты, МГц	min					
		max					
Минимальная полоса пропускания идеального канала связи							
Уровень шума		max					
Уровень рассинхронизации		max					
Уровень граничного напряж.		max					
Процент ошибок при max уровнях и минимальной полосе пропускания КС							
Уровень шума		ср.					
Уровень рассинхронизации		ср.					
Уровень граничного напряж.		ср.					
Полоса пропускания реального канала связи	Гармоники	min					
		max					
	Частоты, МГц	min					
		max					
Требуемая полоса пропускания реального канала связи							

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с постановкой задачи и изучить необходимые теоретические сведения (файл «ДЗ_Кодирование. pdf» – презентация и файл ДЗ_Конспект.pdf – комментарии к презентации).

2. Сформировать исходное сообщение в соответствии с этапом 1.

3. Выполнить физическое кодирование исходного сообщения не менее, чем тремя способами, включая, в качестве обязательного, манчестерское кодирование. Рассчитать частотные характеристики передаваемого сигнала для рассматриваемых способов кодирования и определить требуемую для

эффективной передачи сообщения пропускную способность канала связи (этап 2).

Пример частотного анализа для метода кодирования NRZ представлен в **Приложении**.

4. Выполнить логическое кодирование исходного сообщения для одного из методов физического кодирования, используя избыточное кодирование 4B/5B и скремблирование. Рассчитать частотные характеристики передаваемого сигнала для рассматриваемых способов логического кодирования и определить требуемую для эффективной передачи сообщения пропускную способность канала связи. Сравнить полученные значения со значениями, рассчитанными для физического кодирования (этапы 3 и 4).

5. Выполнить сравнительный анализ рассмотренных способов кодирования и выбрать наилучший способ для передачи исходного сообщения (этап 5).

6. С использованием программы моделирования процесса передачи сообщения по реальному каналу связи «**Network Fourier 23**» выполнить исследования в соответствии с этапами 6–10 и занести результаты в таблицу 2.

7. Выполнить сравнительный анализ рассмотренных способов кодирования и выбрать наилучший способ для передачи исходного сообщения (этап 11).

8. Подготовить и защитить отчёт по выполненной работе.

4. Требования к содержанию отчёта

Отчёт в *электронном* или бумажном виде должен содержать следующие пункты.

1. Исходное сообщение и его представление в шестнадцатеричном и двоичном виде с указанием длины в байтах и битах.

2. **Временные** диаграммы для рассматриваемых методов физического (включая манчестерское) и логического кодирования первых четырёх байт исходного сообщения.

Рассчитанные для каждого метода кодирования и сведенные в единую таблицу значения:

- верхней и нижней границы частот в передаваемом сообщении и спектра сигнала;
- средней частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосы пропускания, необходимой для качественной передачи данного сообщения.

3. *Результаты сравнительного анализа* рассмотренных методов физического кодирования (достоинства и недостатки), представленные в виде таблицы, и обоснованный выбор **двух** лучших методов физического кодирования для передачи исходного сообщения.

4. *Результаты логического кодирования* исходного сообщения *по методу 4B/5B* для одного из методов физического кодирования,

представленные в двоичном и шестнадцатеричном кодах (с указанием длины нового сообщения и его избыточности) и в виде временной диаграммы. Рассчитанные для метода 4B/5B верхняя и нижняя границы частот и требуемая полоса пропускания, и их сравнение со значениями, полученными ранее для соответствующего физического метода кодирования.

5. Вид полинома, используемого для скремблирования исходного сообщения, и обоснование его выбора. Последовательность получения разрядов скремблированного сообщения. Результат скремблирования, записанный в виде скремблированного сообщения в двоичном и шестнадцатеричном кодах, и временная диаграмма. Рассчитанные значения для скремблированного сообщения верхней и нижней частот и требуемой полосы пропускания, и их сравнение со значениями, полученными ранее для соответствующего физического метода кодирования.

6. Краткие выводы с обоснованием наилучшего способа кодирования для передачи исходного сообщения.

7. Скриншоты результатов моделирования процессов передачи кодированного разными методами сообщения с использованием программы “Network Fourier 2.1”, на которых отображается передаваемое сообщение и видны характеристики реального канала связи. Каждый скриншот должен сопровождаться краткими комментариями и выводами.

8. Результаты сравнительного анализа рассмотренных методов кодирования, представленные в виде таблицы 2, с выводами и обоснованным выбором наилучшего способа кодирования для передачи исходного сообщения.

9. Краткие выводы с обоснованием наилучшего способа физического и логического кодирования для передачи исходного сообщения по реальному каналу связи при заданных значениях уровней шумов, рассинхронизации и граничного напряжения.

5. Контрольные вопросы для самопроверки

При подготовке к защите домашнего задания и компьютерному тестированию следует руководствоваться следующим примерным перечнем вопросов и задач для самостоятельной проработки.

1. В чем состоит удобство вычисления затухания сигнала в дБ?
2. Во сколько раз уменьшится мощность сигнала на расстоянии 100 м, если его ослабление равно: $d=10$ дБ/км?
3. В чем отличие спектра от полосы пропускания?
4. Какой спектр частот характерен для дискретных сигналов?
5. При каких условиях обеспечивается качественная передача сигнала?
6. Какую полосу пропускания имеет телефонный канал тональной частоты?

7. По каким каналам можно передавать дискретные сигналы в их естественном виде – без модуляции (в первичной полосе частот)?
8. Что такое модуляция и для чего она нужна?
9. Чем манипуляция отличается от модуляции?
10. Пояснить принцип амплитудной, частотной и фазовой модуляции.
11. Что такое ИКМ?
12. Пояснить различие между АИМ и ИКМ.
13. Показать, за счет чего обеспечивается скорость передачи данных в 64 кбит/с (56 кбит/с) при ИКМ.
14. Пояснить принцип адаптивной разностной (дифференциальной) ИКМ.
15. Перечислить характеристики цифрового канала связи.
16. От чего зависит пропускная способность канала связи?
17. В чём отличие пропускной способности от скорости передачи данных?
18. Как называется процесс представления непрерывных (дискретных) данных в виде физических сигналов для их передачи по каналам связи?
19. От чего зависит спектр результирующего модулированного сигнала?
20. Как спектр результирующего модулированного сигнала зависит от скорости модуляции (скорости передачи данных)? Ответ пояснить.
21. Перечислить требования к методам цифрового кодирования.
22. Что такое потенциальное кодирование?
23. При каком методе кодирования скорость модуляции (бод) и скорость передачи данных (бит в секунду) совпадают?
24. Как изменяется спектр сигнала при потенциальном кодировании, если в передаваемом сообщении появляется длинная последовательность нулей или единиц?
25. В каком случае при потенциальном кодировании в спектре сигнала отсутствует постоянная составляющая?
26. Почему потенциальные коды не используются на каналах тональной частоты?
27. Достоинства и недостатки методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2,
28. У какого из известных вам методов верхняя граница частот имеет наименьшее значение?
29. Нарисовать диаграммы методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2... для сообщения, заданного в шестнадцатеричном коде: C5.

30. Определить частоту основной гармоники для сообщения, заданного в шестнадцатеричном коде: C5, при использовании методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2....
31. Как битовая скорость связана со спектром результирующего сигнала?
32. Какие методы кодирования относятся к самосинхронизирующимся?
33. Почему проблема синхронизации в компьютерных сетях решается сложнее, чем при обмене данными между компьютером и принтером?
34. От чего зависит стоимость реализации метода кодирования?
35. Что такое постоянная составляющая спектра сигнала и почему она нежелательна?
36. Какие методы кодирования имеют постоянную составляющую в спектре сигнала
37. Перечислить методы логического кодирования.
38. Для чего используются методы логического кодирования?
39. Пояснить суть методов логического кодирования 4В/5В, 5В/6В, 8В/10В, 8В/6Т.
40. Что такое «запрещенные коды» в методах избыточного кодирования?
41. Какой метод избыточного кодирования обладает наибольшей (наименьшей) избыточностью и почему?
42. Сколько избыточных кодов содержит метод кодирования 4В/5В (5В/6В, 8В/10В, 8В/6Т).
43. Основной недостаток методов избыточного кодирования.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

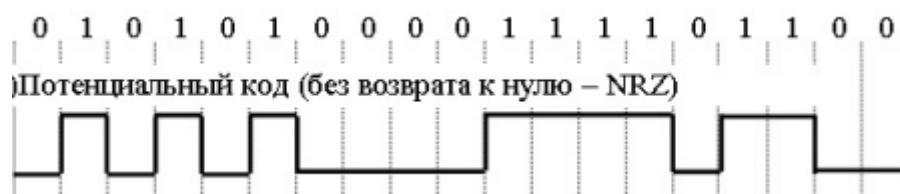
Частотный анализ передаваемых сообщений

Подход, позволяющий выполнить **частотный анализ передаваемого сообщения** и **приблизительно оценить основные частотные характеристики сигнала** при заданном методе кодирования, иллюстрируется на примере метода *потенциального кодирования NRZ*. В качестве частотных характеристик сигнала определяются:

- **верхняя и нижняя границы частот** в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- **среднее значение частоты** в спектре передаваемого сигнала;
- **полоса пропускания**, необходимая для качественной передачи данного сообщения.

Метод *потенциального кодирования без возврата к нулю – NRZ* (Non Return to Zero) является наиболее простым и очевидным методом кодирования двоичных сообщений, в котором значению бита «1» соответствует высокий уровень потенциала, а значению «0» – низкий.

Ниже на рисунке представлена временная диаграмма, отражающая кодирование заданного двоичного сообщения по методу NRZ.



Для определения **верхней границы частот** необходимо найти наиболее высокочастотную составляющую спектра в передаваемом сообщении. В коде NRZ высокочастотная составляющая образуется при передаче чередующихся значений 0 и 1, при этом период синусоиды (гармонического сигнала), используемой для передачи прямоугольных сигналов 0 и 1, будет равен удвоенной длительности битового интервала t : $T = 2t$, где t определяется как величина, обратная значению скорости передачи данных (пропускной способности канала): $t = 1/C$. Отсюда верхняя граница частот будет равна $f_v = 1/T = C/2$. При пропускной способности канала связи $C = 1$ Мбит/с частота основной гармоники равна $f_v = 500$ кГц.

В общем случае, при кодировании любого сообщения по методу NRZ наибольшая (верхняя) частота достигается при передаче чередующихся значений 0 и 1, а наименьшая (нижняя) – при передаче длинных (в пределе бесконечных) последовательностей нулей и единиц, что делает нижнюю границу частот близкой и в пределе равной нулю: $f_n = 0$. Следовательно, в предельном случае **спектр** $S = f_v - f_n = f_v = C/2$.

С другой стороны, при передаче *конкретного сообщения* **нижняя частота** всегда больше нуля и зависит от максимальной длины

последовательностей нулей или единиц, при которой не меняется уровень потенциала. В этом случае для расчета нижней границы частот необходимо в коде передаваемого сообщения найти наиболее длинную последовательность единиц или нулей. В нашем случае низкочастотная составляющая образуется при передаче четырех последовательных единиц и четырех последовательных нулей. Период синусоидального сигнала при передаче каждой такой последовательности равен 8 битовым интервалам и нижняя граница частот соответственно будет равна: $f_n = 1/8 t = C/8$. Тогда ширина спектра при передаче данного сообщения кодом NRZ равна $S = f_v - f_n = 0,375C = 375 \text{ кГц}$

Отметим, что полученные значения нижней границы частот и, соответственно, спектра справедливы именно для этого конкретного сообщения. При передаче других сообщений эти значения будут другими. Таким образом, можно утверждать, что при кодировании по методу NRZ ширина спектра сигнала $S < C/2$.

Среднее значение частоты передаваемого сообщения находится в интервале $(f_n; f_v)$ и *показывает, какие частоты (низкие или высокие) преобладают в спектре передаваемого сигнала.*

Для приблизительного (оценочного) расчёта среднего значения частоты передаваемого сообщения необходимо для каждого битового интервала (а в некоторых случаях для половины битового интервала) определить соответствующую частоту сигнала, просуммировать их и разделить на количество битовых интервалов. В нашем случае: частота основной гармоники $f_0 = C/2$ соответствует 7-ми битовым интервалам, 4-м битовым интервалам соответствует частота вдвое меньшая, чем частота основной гармоники, т.е. $f_0/2$, и 8-ми битовым интервалам соответствует частота $f_0/4$.

Тогда средняя частота рассматриваемого сообщения равна:

$$f_{\text{ср}} = (7f_0 + 4f_0/2 + 8f_0/2)/19 \approx 0,58f_0 = 290 \text{ кГц}.$$

Поскольку середине спектра рассматриваемого сообщения соответствует частота $f_{1/2} = (f_n + f_v)/2 = 0,625f_0 = 312,5 \text{ кГц}$, можно констатировать, что *в спектре сигнала незначительно преобладают низкие частоты: $f_{\text{ср}} < f_{1/2}$.*

Для качественной передачи двоичных сигналов по реальному каналу связи и возможности их распознавания на приёмной стороне с минимальным количеством ошибок, желательно на передающей стороне формировать сигналы, приближающиеся к прямоугольной форме. Однако, спектр таких сигналов оказывается слишком большим. В то же время, для качественного распознавания сигнала на приемной стороне при передаче чередующихся значений 0 и 1 достаточно сформировать сигнал, содержащий первые 4 гармоники (поскольку более высокочастотные гармоники оказывают незначительное влияние на результирующий сигнал) с частотами $f_0 = C/2$, $f_1 = 3f_0$, $f_2 = 5f_0$, $f_3 = 7f_0$. В этом случае верхняя граница частот $f_v = 7f_0$, а

ширина спектра сигнала при передаче рассматриваемого сообщения соответственно будет равна $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 7f_0 - f_0 / 4 = 6,75f_0 = 3,375 \text{ МГц}$.

Полоса пропускания F , необходимая для передачи данного сообщения, должна быть больше спектра S , например, $F = 4 \text{ МГц}$.

Основное достоинство кода NRZ - малая ширина спектра сигнала, которая меньше, чем у других методов кодирования: $S = f_{\text{в}} = 0,5C \text{ Гц}$, где C – скорость передачи данных [бит/с].