

УДК 621.398

## Передача телеметрической информации с применением принципа мультиплексирования ортогональных несущих частот и помехоустойчивого кодирования в условиях ракетного радиоканала

А. П. Мороз<sup>1</sup>, Д. Ю. Поленов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д. т. н., <sup>2</sup>аспирант

ОАО «НПО ИТ», г. Королев

e-mail: <sup>1</sup>apmoroz@mail.ru, <sup>2</sup>polenoff.mitya@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы передачи телеметрической информации с изделий ракетной техники с применением принципа мультиплексирования ортогональных несущих частот, а также помехоустойчивого и восстанавливающего кодирования. Рассматриваются два простейших метода: код с проверкой на четность и код Хэмминга. Сравниваются системы радиопередачи информации без использования и с использованием кодирования по показателю вероятности появления битовой ошибки. Приводится модель тракта приема, кодирования и передачи информации для применения в данном методе радиопередачи и кодирования.

**Ключевые слова:** телеметрическая информация, передача телеметрической информации, методы кодирования информации, вероятность появления символической ошибки, радиоканал

## Transmission Telemetry Information with Using the Principle of the Multiplexing Orthogonal Carryinging Frequencies and Antinoise Coding in Condition of the Missile Radio Link

A. P. Moroz<sup>1</sup>, D. Yu. Polenov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>doctor of engineering science, <sup>2</sup>graduate student

ОАО «NPO IT»

e-mail: <sup>1</sup>apmoroz@mail.ru, <sup>2</sup>polenoff.mitya@yandex.ru

**Abstract.** In article are considered questions of the transmission telemetry information with product of the missile technology with using the principle of the multiplexing orthogonal carryinging frequencies, as well as antinoise and restoring coding. They Are Considered two the most simplest methods: code with checking for parity and code Hemming. They Are Compared systems of the radio broadcast to information without use and with use the coding on factor of probability of the appearance of the bit error. Happens to the model of the tract of the acceptance, coding and transmissions to information for using in given method of the radio broadcast and coding.

**Key words:** telemetry information, the issue to telemetry information, the methods of the coding to information, probability of the appearance of the symbol error, the radio link

## Введение

Передача информации по радиоканалу осуществляется с помощью модулированных колебаний несущей частоты. В статье рассматриваются вопросы передачи телеметрической информации (ТМИ) с изделий ракетной техники (РТ) с применением принципа мультиплексирования ортогональных несущих частот [1]. Его суть заключается в разбиении символов цифрового кода измерительной информации на блоки и передаче каждого блока на своей несущей частоте. В результате получается параллельная передача символов [2, с. 307], что показано на рис. 1. Чем больше несущих используется при передаче, тем дольше длительность символа, передающегося соответствующей ему несущей.

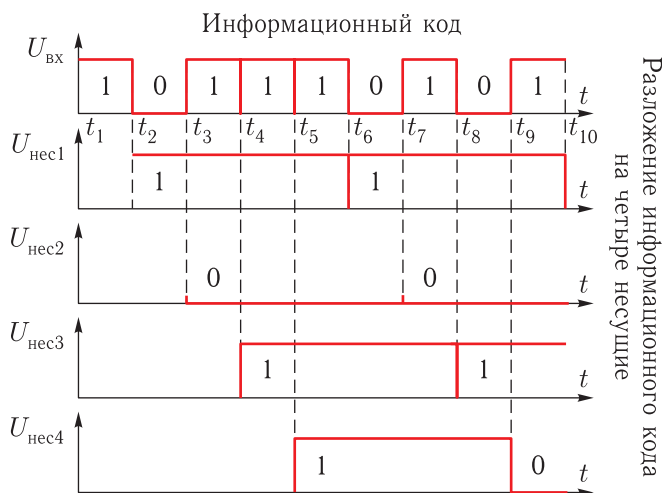


Рис. 1. Пример разложения цифрового сигнала

С увеличением длительности времени передачи каждого символа повышается устойчивость к воздействию искажений информационного сигнала, возникающих в результате многолучевого распространения радиоволн [2, с. 307], характерного для ракетного радиоканала.

В качестве методов модуляции в случае применения описанного принципа радиопередачи можно использовать 16, 64 (и более) позиционную квадратурную амплитудную модуляцию (КАМ) [3, с. 257]. Этот метод модуляции, по сравнению с частотной модуляцией (ЧМ), позволяет сузить полосу частот [1].

Однако если при радиопередаче ограничиться использованием лишь рассматриваемого принципа мультиплексирования, то полученный информационный код может иметь вероятность искажения символа ( $P_u$ ) выше допустимой. Для снижения  $P_u$  предлагается применить помехоустойчивое и восстанавливающее кодирование [3].

## Методы кодирования

Существует большое количество методов кодирования, восстановления потерянной/искаженной информации. Рассмотрим два простейших метода: код с проверкой на четность (ПЧ) и код Хэмминга (КХ). Проведем их сравнение применительно к рассматриваемой задаче передачи ТМИ.

**Первый метод.** При кодировании с помощью ПЧ в информационный блок добавляется один разряд, значение которого равно сумме всех проверяемых символов по модулю 2.

Для примера рассмотрим случай, когда одной несущей передается пять разрядов информационного блока и один разряд — проверочный, как показано на рис. 2.

В блок из пяти разрядов информационного кода (рис. 2, а) добавляется проверочный разряд — выделенный символ (рис. 2, б). После чего получившийся шестиразрядный кодированный блок (1-й блок) передается модулированной КАМ-64 несущей (рис. 2, в). Действия со следующим пятиразрядным информационным блоком повторяются, информация «ложится» на следующую несущую (рис. 2, г, 2-й блок) и так далее. После передачи информации по последней (в нашем примере четвертой) несущей время передачи первого кодированного блока информации на первой несущей заканчивается, информация на ней меняется и начинает отправляться 5-й блок (рис. 2, в).

Действительно, результаты анализа графиков  $U_{нec1}$ ,  $U_{нec2}$ ,  $U_{нec3}$ ,  $U_{нec4}$  рис. 2 свидетельствуют об увеличении длительности передачи одного символа. В рассматриваемом примере длительность передачи одного символа увеличивается в 20 раз по сравнению с его первоначальным значением:

$$t_{пч} = 20t_{сик}, \quad (1)$$

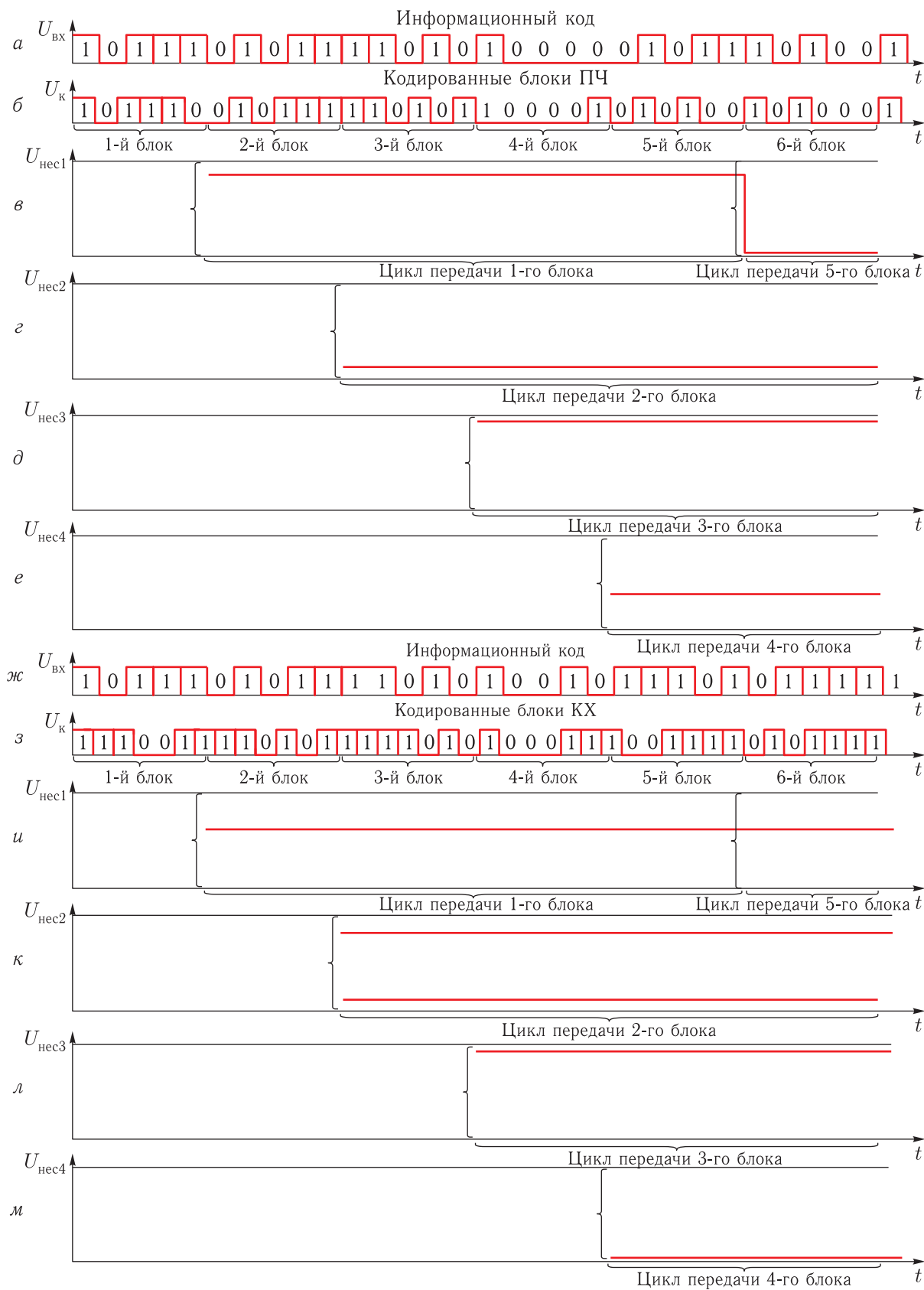


Рис. 2. Временные диаграммы передачи информационных блоков

где  $t_{пч}$  — длительность передачи символа кодированного блока методом ПЧ;

$t_{сик}$  — длительность символа информационного блока.

**Второй метод.** При кодировании информационного блока с помощью КХ (рис. 2) количество символов  $n$  в каждом кодированном блоке зависит от числа символов информационного блока  $n_{и}$  и дополнительных символов кодирования  $n_{к}$  [4]:

$$n = n_{и} + n_{к}. \quad (2)$$

Закодируем с помощью КХ 18 информационных разрядов ( $n_{и} = 18$ ). С учетом того, что для применения КХ необходимо, чтобы  $n_{к} = 5$ , из выражения (2) следует:

$$n = n_{и} + n_{к} = 18 + 5 = 23. \quad (3)$$

Так как на каждой несущей возможно передавать шесть разрядов, к полученным 23 разрядам кодированного блока добавим 24-й разряд (ноль):

$$n = n + 1 = 24. \quad (4)$$

Разделим кодированный блок на четыре части (по шесть разрядов, рис. 2, з) и передадим их четырьмя несущими (рис. 2, и–2, м).

Результат передачи показан на рисунках.

Время длительности передачи одного символа  $t_{кх}$  увеличивается в 18 раз:

$$t_{кх} = 18t_{ис}. \quad (5)$$

Таким образом, при радиопередаче ТМИ с излучения РТ (в предложенных условиях) длительность передачи одного символа при использовании первого метода кодирования на 10% больше. Однако во втором методе кодирования, как известно, имеется возможность восстановления одного символа информационной посылки.

Сравним системы радиопередачи информации без использования и с использованием кодирования по показателю вероятности появления битовой ошибки. Для этого произведем расчет зависимостей показателя вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум для предложенного варианта радиопередачи.

Исходные данные:

– скорость передачи данных (ТС «Скут-40»):

$$R = 320\,000 \text{ бит/с}; \quad (6)$$

– отношение энергии бита  $E_b$  к спектральной плотности мощности шума  $N_o$ :

$$\frac{E_b}{N_o} = 6,25 \approx 8 \text{ дБ}; \quad (7)$$

– вид модуляции — КАМ-64;

– количество передаваемых символов для варианта ПЧ:

$$n_{к} = 24 \text{ и } n_{и} = 20; \quad (8)$$

– количество передаваемых символов для варианта КХ:

$$n_{к} = 24 \text{ и } n_{и} = 18. \quad (9)$$

Выражение для вычисления вероятности символьной ошибки информационного блока имеет вид [5, с. 353]

$$P_u = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) = Q(3,53) = 21,7 \cdot 10^{-5}, \quad (10)$$

где для  $Q(x)$  используется следующее приближение [5, с. 353]:

$$Q(x) \approx \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-x^2}{2}\right)}, \text{ для } x > 3. \quad (11)$$

Вероятность  $P_M^u$  того, что в принятом информационном блоке, не содержащем корректирующих символов  $n_{к}$ , будет искажен один символ согласно [5, с. 353] определяется следующим выражением:

$$P_M^u = 1 - (1 - P_u)^{n_{и}}. \quad (12)$$

Вероятность  $P_M^c$  того, что в закодированном блоке, содержащем  $n_{и}$  корректирующих символов, будет искажен один символ согласно [5, с. 353] определяется следующим выражением:

$$P_M^c = \sum_{j=2}^n n_j (P_c)^j (1 - P_c)^{n-j}, \quad (13)$$

где  $j$  — количество ошибочных бит в блоке;

$P_c$  — вероятность символьной ошибки кодированного блока.

Таблица 1. Результаты расчета показателей вероятности появления битовой ошибки

	ТС без кодирования	ТС с кодированием ПЧ	ТС с кодированием КХ
Количество бит информационного блока	20	20	18
Отношение сигнал/шум, $\frac{E_b}{N_o}$ , дБ	8	7	6,5
Скорость передачи битов, $R$ , бит/с	320 000	384 000	426 700
Вероятность появления битовой ошибки, $P_M^u$ и $P_M^c$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
Результат сравнения с ТС без кодирования	—	$\downarrow P_M^c$ более чем в 34 раза	$\downarrow P_M^c$ более чем в 11 раз

Результаты расчета показателей вероятности появления битовой ошибки для описанных методов кодирования приведены в табл. 1.

Анализ полученных данных показывает, что применение кодирования снижает требуемое для достоверной передачи отношение сигнал/шум, а также уменьшает вероятность появления битовой ошибки, что сопровождается характерным ростом скорости передачи информации в связи с появлением избыточности информации. Выигрыш по рассматриваемому показателю составляет более чем в 34 раза в случае применения ПЧ и более чем в 11 раз — КХ.

Следует отметить, что при значении  $\frac{E_b}{N_o} = 15$  дБ у ТС без кодирования вероятность появления битовой ошибки составит  $P_b = 10^{-3}$  (точка В), аналогичный показатель ТС с применением КХ составит  $P_b = 10^{-4}$  (точка А), что показано на рис. 3.

В заключение предлагается модель тракта приема информации от источника (датчика), кодирования и передачи, приведенная на рис. 4.

Опросный коммутатор циклически производит снятие данных с подключенных датчиков. Полученная измерительная информация поступает в формирователь кадра, где преобразуется в последовательный информационный код. После чего кодер добавляет в информационный код служебные разряды и отправляет сформированную последовательность в преобразователь. Тот, в свою очередь, преобразует последовательный код в параллельный, необходимый для модулирования несущих. После сложения несущих формируется выходной сигнал  $U(t)$ .

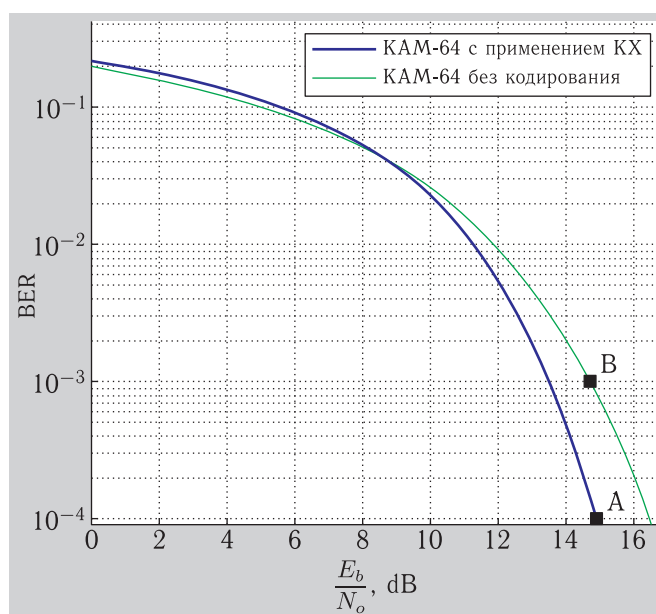


Рис. 3. Зависимость  $P_b$  от  $\frac{E_b}{N_o}$

В качестве перспектив дальнейших исследований предлагается рассмотреть вопросы:

- применение КХ при увеличении позиционности кода и дальнейшем уменьшении избыточности КХ в связи с вероятным увеличением проверяемой кодовой последовательности;
- внедрение в описанный принцип передачи помехоустойчивого кодирования кодов Рида-Соломона и Голея.

В результате проведенной работы получены следующие результаты:

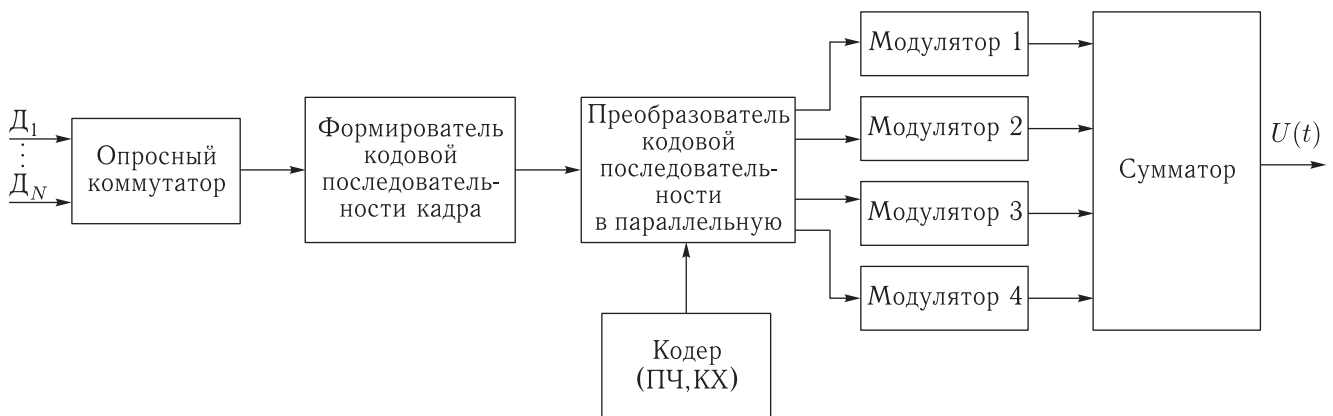


Рис. 4. Модель тракта приема, кодирования и передачи информации

- 1) рассмотрена возможность применения простейших методов кодирования при радиопередаче ТМИ с использованием мультиплексирования ортогональных несущих частот;
- 2) выполнено сравнение двух методов кодирования — ПЧ и КХ, в результате чего показано, что применение ПЧ увеличивает длительность передачи символа на 10 %;
- 3) проведены расчеты вероятности искажения символа при радиопередаче, анализ которых дает основание полагать о снижении вероятности появления символической ошибки в случае применения ПЧ и КХ более чем в 34 и 11 раз соответственно;
- 4) приведена графическая зависимость  $P_b$  от  $\frac{E_b}{N_o}$  для случаев с применением КХ и без кодирования, что свидетельствует об увеличении  $P_b$  на порядок при одинаковом значении  $\frac{E_b}{N_o}$ ;
- 5) приведена модель тракта приема, кодирования и передачи информации для применения в данном методе радиопередачи и кодирования;
- 6) предложены дальнейшие пути развития данного подхода передачи ТМИ, предполагающие

внедрение в рассматриваемый принцип помехоустойчивого кодирования Рида–Соломона и кода Голея.

## Список литературы

1. Мороз А. П., Поленов Д. Ю. Применение принципа передачи телеметрической информации с мультиплексированием ортогональных несущих частот при работе в ракетном радиоканале // Тезисы докладов XX-й Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Королев: РКК «Энергия», 2014.
2. Джакония В. Е., Гоголь А. А., Друзин Я. В. и др. Телевидение: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 2003. 616 с.
3. Мамчев Г. В. Основы радиосвязи и телевидения. Учеб. пособ. для вузов. М: Горячая линия–Телеком, 2007. 416 с.
4. Цымбал В. П. Теория информации и кодирование. Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1977. 288 с.
5. Бернард С. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2003. 1104 с.