

УДК 621.391

Н.В. Захарченко<sup>1</sup>, В.В. Гордийчук<sup>2</sup>, А.В. Толкачев<sup>1</sup>, Д.В. Голев<sup>1</sup><sup>1</sup> Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Одесса<sup>2</sup> Институт Военно-Морских Сил Национального университета «Одесская морская академия», Одесса

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХСИМВОЛЬНЫХ АНСАМБЛЕЙ БУКВ В СИСТЕМАХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Проведена оценка эффективности передачи дискретной информации в системах с решающей обратной связью (РОС), позволяющей в каждой сигнальной конструкции, синтезированной на базе таймерных сигналов, передавать информацию о двух очередных символах русского языка или двух байтах.

В работе используется метод увеличения реализаций за счет расположения смежных моментов модуляции на расстоянии, не меньшем интервала Найквиста, но и не кратному ему. Доказано, что возможно увеличение информационной емкости найквистового элемента с помощью создания ансамблей из множеств сигнальных конструкций.

**Ключевые слова:** таймерная сигнальная конструкция, решающая обратная связь, избыточность, код, потери.

### Постановка проблемы

В существующих системах передачи дискретной информации используется позиционное кодирование, в котором каждая двоичная цифра двоичного числа, представляющего запись номера передаваемого символа в используемом алфавите, передается сигналом, равным по длительности элементу Найквиста ( $t_0$ ) и определяемого как  $t_0 = \frac{1}{\Delta F}$  ( $\Delta F$  – полоса пропускания канала).

В результате этого расстояние между моментами модуляции в таких системахратно элементу Найквиста, а на расстоянии  $T_{ск} = mt_0$  имеется возможность синтезировать только  $N_p = 2^m$ .

В работе используется метод увеличения реализаций за счет расположения смежных моментов модуляции на расстоянии, не меньшем интервала Найквиста, но и не кратному ему.

### Анализ последних исследований и публикаций

Теория таймерных сигнальных конструкций выложена в главе 3.2 тома 1 [3]. На сегодняшний день направлением «использование таймерных сигналов для передачи данных» с применением его в различных аспектах теории связи занимаются аспиранты и выпускники аспирантуры Одесской национальной академии связи им. А.С. Попова (кафедры информационной безопасности и передачи данных). По результатам научно-исследовательской деятельности вышел целый ряд научных трудов, которые в открытом доступе можно найти с помощью поиска по указанным ключевым словам.

**1. Эффективность симплексных дискретных систем с позиционным кодированием.** Симплексными системами называются односторонние системы передачи, в которых оценка качества поступившего кодового слова и коррекция его производится на приемной стороне. Для этого используются позиционные избыточные коды, в которых каждая сигнальная конструкция содержит  $n$  элементов, представляющих  $m$  информационных и  $k$  проверочных [1]:

$$n = m + k. \quad (1)$$

Согласно границе Хемминга [1] число проверочных элементов определяется из неравенства [2]

$$2^{n-m} \geq \sum_{i=0}^{d_0-2} C_{n-1}^i, \quad (2)$$

в котором кодовое расстояние  $d_0$  определяется потоком ошибок в используемом канале, элементностью кода  $n$ , а также режимом использования избыточности кода:

1) при необходимости только обнаруживать ошибки кратности  $t_0$  кодовое расстояние должно удовлетворять условию [2]

$$d_0 = t_0 + 1; \quad (3)$$

2) при необходимости только обнаруживать и исправлять ошибки кратности  $t_n$

$$d_0 = 2t_0 + 1. \quad (4)$$

Таким образом, общее число элементов  $n$  для случая исправления ошибок или только обнаружения зависит от кодового расстояния  $d_0$ .

В таблице 1 приведены значения числа проверочных элементов  $k$  при заданном числе информационных элементов  $m$  и кодового расстояния для  $d_0 \in 2 \div 7$ .

Таблиця 1

Число избыточных элементов

$d_0$	$m$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4
4	3	5	5	6	6	7	7	7	7	8
5	4	7	8	8	9	9	10	10	10	11
7	6	11	12	13	14	15	15	16	16	17

Из табл. 1 следует, что при  $d_0 \geq 4$  число проверочных элементов может быть больше числа информационных элементов, что существенно уменьшает кодированную скорость системы ( $C_k$ ) [1]

$$C_k = \frac{m}{m+k} \quad (5)$$

Следует учесть, что используемые в большинстве случаев каналы удовлетворяют модели Гильберта, т.е. имеют два состояния [3]: «хорошее» состояние, в котором вероятность ошибки  $P_{0x} < (10^{-4} \div 10^{-5})$ , и «плохое» состояние, в котором  $P_{0n} \gg P_{0x}$  [2]. При этом необходимо учесть, что время «хорошего» состояния ( $T_x$ )  $T_x \geq (500 \div 800)$  байт, а «плохого»

$$(T_n \leq t_0 = \frac{1}{\Delta F}), \text{ т.е. } \frac{T_x}{T_n} \geq 1000 \text{ [3].}$$

Следовательно, избыточность при позиционном кодировании в каналах модели Гильберта на большем интервале времени передачи используется неэффективно.

**2. Системы с РОС на базе позиционных кодов.** Из п. 1 следует, что основной недостаток симплексных систем состоит в неэффективном использовании большой избыточности кода на интервале времени «хорошего» состояния канала [2]. Целесообразней было бы на приемной стороне только обнаружить ошибки при любом искажении.

Так как кодовое расстояние  $d_0$  для обнаружения ошибок определяется выражением (3), то число избыточных элементов в кодовых словах будет меньше. Например, если для исправления двухкратных ошибок ( $d_0 = 5$ ) к 5 информационным элементам необходимо добавить 9 проверочных элементов (табл. 1) и общее число  $n_1$  в кодовом слове (1) будет равным 14 элементам. В то же время для обнаружения ошибок в пятиэлементном коде ( $m = 5$ ) необходимо добавить только 4 избыточных элемента, т.е. общее число элементов будет 9 ( $n_2 = 5 + 4$ ). Тогда кодовая скорость, определяемая как [1], [2]

$$C_k = \frac{m}{n}$$

в первом случае будет равной  $C_{k1} = 5/14 = 0,357$ , а во втором случае  $C_{k2} = 5/9 = 0,555$ .

Таким образом переход к системе с РОС увеличивает информационную емкость одного элемента кодовой конструкции на  $(0,555 - 0,357) = 0,2$  бита [3].

Рассмотрим потери на повторение обнаруженных ошибок в кодовых словах систем с РОС, для чего воспользуемся данными для радиорелейного телефонного канала (табл. 2) при длительностях кодовых слов [4]  $n \in \{15; 31; 63; 127\}$  при  $P_0 = 1,98 \cdot 10^{-3}$  [2] и коэффициенте группирования  $\alpha = 0,318$ .

Таблиця 2

Потери скорости передачи на повторение

$n$	$n - m$	$P_0(\geq 1, n) \times 10^{-3}$	$P_{\text{ош}} < 10^{-5}$		$P_{\text{ош}} < 10^{-5}$	$\frac{m}{n}$	$R$		$\Delta R$
			эсп.	расч.			эсп.	код. скорость	
15	5	2,43	4,25	3,91	1,23	0,3	0,660	0,531	0,006
15	7	2,43	1,14	0,99	0,48	0,42	0,527	0,83	0,004
31	5	3,22	6,52	6,35	1,24	0,19	0,828	0,77	0,002
31	7	3,22	1,4	2,33	0,21	0,15	0,767	0,88	0,003
63	7	4,53	2,07	3,00	0,43	0,21	0,874	0,94	0,006
127	7	5,6		4,08	2,15	0,49	0,936		0,004

Основным критерием оценки потерь является величина  $\Delta R$ , представляющая разницу между кодовой скоростью  $\frac{m}{n}$  и экспериментальной.

Из табл. 2 следует:

1) основные потери в скорости передачи для различных длин кодовых слов при позиционном кодировании определяются числом избыточных элементов;

2) потери скорости в системе с РОС за счет повторений составляют доли процента от информационной емкости одного элемента;

3) основная причина малых значений информационной емкости одного элемента кода определяется минимальным числом  $a$  разных значений информационного параметра в двоичном канале  $a = 2$ .

Учитывая, что энтропия (количество информации в кодовом слове  $H$ ) определяется [3]

$$H = \log_2 N_p, \quad (6)$$

то для ее увеличения необходимо увеличить число реализаций на интервале кодового слова.

**3. Таймерные сигналы как инструмент кодового уплотнения.** Отметим, что при позиционном кодировании информация о передаваемом кодовом слове представляется через алфавит канала  $a$ , объем которого соответствует числу различных значений информационного параметра  $a$  [3]. Если  $a = 2$  – канал называется двоичным ( $a \in 0; 1$  или  $a \in 1; -1$ ). Если  $a = 3$  – канал называется троичным ( $a \in 1; 0; -1$ ) и т.д. Каждая из цифр алфавита канала передается по каналу отрезком сигнала величиной  $t_0$ , определяемого полосой пропускания канала  $\Delta F$  ( $t_0 = 1/\Delta F$ ), и называемого элементом Найквиста.

В таймерных сигнальных конструкциях информация содержится в длинах нескольких  $i$  (временных) отрезков  $\tau_{ci}$ , каждый из которых [3]

$$\tau_{ci} = t_0 + \gamma\Delta, \quad (\gamma \in 1; 2; \text{целые числа}). \quad (7)$$

Первое слагаемое выражения (7) обеспечивает установление переходного процесса на выходе канала, второе слагаемое в длине отрезка содержит информацию о кодовом слове. Величина  $\Delta < t_0$ ;  $\Delta = t_0/s$  ( $s \in 1 \dots s_0$  – целые числа) определяет минимальную разницу в длинах отдельных отрезков (определяется различительной способностью измерения длины на приеме с учетом помех в канале) [3].

В отличие от позиционного кодирования расстояния между моментами модуляции не кратно элементу Найквиста, но и не меньше его. Такое формирование сигнальных конструкций обеспечивает большее количество их на заданном интервале  $T_{ck} = mt_0$ , но с минимальным энергетическим расстоянием, определяемым элементом  $\Delta$ .

Количество реализаций таймерных сигнальных конструкций  $N_{pt}$  зависит от основных параметров  $i$ ,  $s$  и  $m$  на интервале  $T_{ck} = mt_0$  равно [3]

$$N_{pt} = C_{ms-i(s-1)}^i = \frac{[ms - i(s-1)]!}{i!(ms - is)!}, \quad (8)$$

где  $i$  – число информационных отрезков в таймерной конструкции.

На рис. 1 представлены реализации нескольких таймерных сигнальных конструкций при параметрах:

$$s = \frac{t_0}{\Delta} = 5; T_{pk} = 6t_0, m = 7.$$

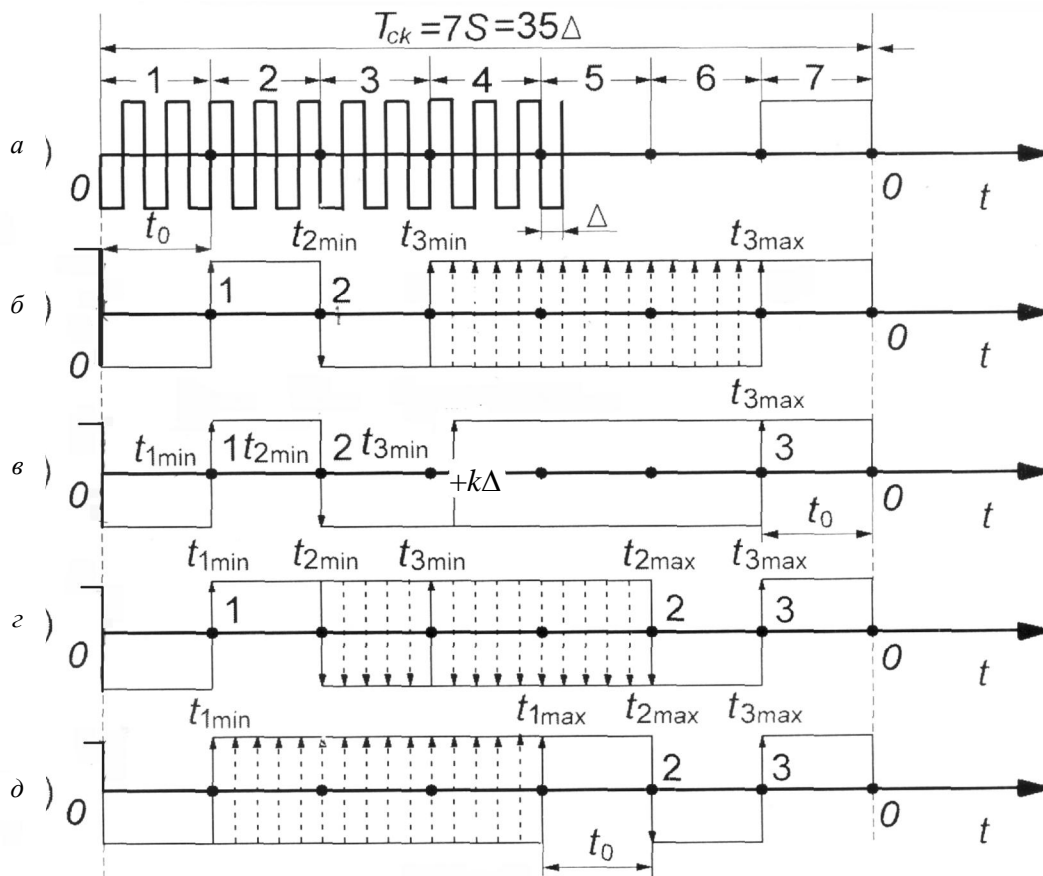


Рис. 1. Реализация сигнальных таймерных конструкций на интервале  $T_c = 7t_0$

На рис. 1 а представлено 7 найквистових елементов  $t_0 = 1/\Delta F$ . Каждый найквистовый элемент состоит из пяти элементов  $\Delta$  ( $t_0/\Delta = s$ ). В нашем случае  $s = 5$ .

Отметим, что элемент  $\Delta$  является образующим элементом для всех разрешенных к передаче кодовых слов (сам элемент  $\Delta$  по каналу связи не передается, но участвует в формировании составляющих отдельных отрезков  $\tau_{ci}$  каждой кодовой конструкции).

Таким образом, количество кодовых слов, реализуемых на интервале  $T_{ск}$ , определяется параметрами (8)  $m$  – число найквистовых элементов, которые участвуют в формировании множества ТСК (в нашем случае  $m = 7$ ), и числом информационных отрезков, из которых состоит кодовое слово.

Из рис. 1 б следует, что в рассматриваемом случае используются три отрезка: 1)  $(0\div 1)t_0$ ; 2)  $(1\div 2)t_0$ ; 3)  $(2\div 3)t_0$ .

Рисунок 1 в отображает минимальные значения длительностей отрезков (каждый из трех

отрезков  $t_{1\min} = t_{2\min} = t_{3\min} = t_0$ ). На рис. 1 г показано, как методом смещения третьего перехода на интервалы  $\Delta$  вправо создается разрешенное множество реализаций за счет смещения 3-го перехода.

Рис. 1 д показывает реализацию одной из возможных комбинаций за счет смещения конца отрезка 3 на величину  $\Delta$ :

$$\text{первый отрезок } \tau_{1\min} = 5\Delta = t_0;$$

$$\text{второй отрезок } \tau_{2\min} = 5\Delta = t_0;$$

$$\text{третий отрезок } \tau_{3\min} = 5\Delta + \Delta = 6\Delta = t_0 + \Delta.$$

Если оставить координаты 1, 2 на своих местах, то смещая только координату 3 на величину  $\theta = 10$ , можно получить 15 различных комбинаций.

Можно показать, что при  $s = 5$ ,  $m = 6$ ,  $i = 3$  согласно (8) будет  $N_p = 816$ , что в 12,75 раз больше числа комбинаций позиционного кода  $N_{ПК} = 2^m$ .

В табл. 3 для сравнения приведено число реализаций ТСК при  $m \in 4\div 10$ ;  $s_5 = 2$ ,  $s_{20} = 7$ ;

$$(\Delta = \frac{t_0}{s} = 0,142t_0), i = 3, i = 5.$$

Таблица 3

Число реализаций ТСК и ПК как функция интервала реализации

$s$	$m$	4	5	6	7	8	9	10
	$N_{ПК} N_{ТСК}$		16	32	64	128	256	512
2	$i = 3$	10	35	84	165	286	455	680
7	$i = 3$	120	680	2024	4495	8436	14190	22100
7	$i = 5$	165	969	792	11628	65780	237336	658008

Отметим, что в табл. 3 указано число реализаций только для  $s_1 = 2$  и  $s_2 = 7$ . Этих двух значений достаточно, чтобы показать скорость роста  $N_{рт}$  по сравнению с  $N_{ПК}$ . При  $s > 7$  вероятность ошибки в канале резко увеличивается. В [3] приведены таблицы числа реализаций для  $m \in 4\div 10$ ;  $s \in 2\div 12$ ;  $i \in 1\div 6$ .

Из этих таблиц следует, что таймерные сигналы при заданном значении  $m$  и  $s$  позволяют получить намного больше реализаций, чем при ПК. Так при  $i = 3$ ;  $5 < m < 6$ ;  $s = 7$  можно получить более 1024 реализаций ( $N_p = 32 \times 32 = 1024$ ), что позволяет передавать ансамбли из двух букв, а при  $s = 7$ ;  $i = 5$ ;  $m = 8$  число реализаций  $N_p = 65780$ , что позволяет в интервале одного кодового слова формировать (при  $n = 8$ ) 2 байта  $256 \times 256$ , но с минимальным энергетическим расстоянием между кодовыми словами, определяемым энергией элемента  $\Delta = t_0/s$ .

### Вывод

Основные свойства таймерных сигналов:

1) число реализаций таймерных сигналов  $N_{рт}$  при  $m > 4$ ,  $s > 3$  намного больше числа реализаций позиционных кодов  $N_{ПК}$  ( $N_{рт} \gg N_{ПК}$ );

2) в табл. 3.4 [3] приведены значения  $N_{рт}$  при  $m \in 4\div 10$ ;  $s \in 1\div 12$ ;  $i \in 1\div 6$ ;

3) корректирующие и простые ТСК реализуются на одном и том же интервале времени  $T_{ск} = mt_0$ ;

4) для увеличения информационной емкости найквистового элемента необходимо создавать ансамбли из множеств сигнальных конструкций при различном числе отрезков  $i$  в кодовом слове.

### Список литературы

1. Буга Н.Н. Основы теории связи и передачи данных / Н.Н. Буга. – Л.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1968. – 542 с.
2. Березюк Н.Т. Кодирование информации / Н.Т. Березюк. – Харьков: Вища школа, 1978. – 250 с.
3. Захарченко М.В. Системы передачи данных: у 2-х т. / М.В. Захарченко. – Одеса: Фенікс, 2009. – Т. 1. – 447 с.
4. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов / В.А. Игнатов. – М.: Сов. радио, 1979. – 280 с.

**Рецензент:** д.т.н., проф. В.В. Корчинский, Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Одесса.

**Ефективність використання двосимвольних ансамблів літер у системах з вирішувальним зворотним зв'язком**

М.В. Захарченко, В.В. Гордійчук, А.В. Толкачев, Д.В. Голев

Проведено оцінку ефективності передачі дискретної інформації в системах з вирішувальним зворотним зв'язком (РОС), що дозволяє в кожній сигнальній конструкції, синтезованій на базі таймерних сигналів, передавати інформацію про два наступних символи російської мови або два байти.

У роботі використовується метод збільшення реалізації за рахунок розташування суміжних моментів модуляції на відстані, не меншій за інтервал Найквіста, але і не кратний йому. Доведена можливість збільшення інформаційної ємності найквістового елемента за допомогою створення ансамблів з множин сигнальних конструкцій.

**Ключові слова:** таймерна сигнальна конструкція, вирішувальний зворотний зв'язок, надлишковість, код, ентропія.

**Efficiency two-character ensembles of letters using in systems decision feedback**

N. Zakharchenko, V. Hordiichuk, A. Tolkachev, D. Golev

The estimation of the efficiency of the transmission of discrete information in systems with solving feedback link is carried out in the work. It allows in each signal structure synthesized on the timed signals base of to transmit information about two next symbols of the Russian language or two bytes.

In paragraph 1 "Efficiency of simplex discrete systems with position coding", definition of simplex transmission systems is given according to [1], in which the quality of the received codeword and its correction are made on the receiving side. For which positional redundancy codes are used, an analysis of their main characteristics is carried out and it is proved that redundancy in position coding in channels of the Hilbert model over a longer transmission time interval is not used effectively.

In paragraph 2 "Systems with ROS on the position codes base" to increase the one element information capacity of the code structure, it was suggested to make the transition to the system with ROS, analysis of the losses for the repetition of detected errors in the code words of systems with ROS, in the radio relay telephone channel (Table 2). Taking into account that the entropy (the amount of information in the code word), according to [3], is determined by the expression (6), for increasing of it, it is necessary to increase the number of realizations on the code word interval.

In paragraph 3 "Timed signals as a code multiplexing tool", it is determined that, unlike positional coding, the distance between the modulation instants is not a multiple of the Nyquist element, but it is not less than it. Such formation of signal structures provides a greater number of them at a given interval, but with a minimum energy distance.

In paragraph 4. "Conclusion" the main properties of the timer signals are defined, namely:

1) the number of realizations of time signals  $N_{pm}$  for  $m > 4$ ,  $s > 3$  is much larger than the number of realizations of the position codes  $NPK$  ( $Nt \gg NPK$ );

2) in Table. 3.4 [3] the values of  $N_{pm}$  are given for  $m \in 4 \div 10$ ;  $s \in 1 \div 12$ ;  $i \in 1 \div 6$ ;

3) correcting and simple TSK are realized on the same time interval  $T_{sk} = mt_0$ ;

4) to increase the information capacity of the nayquist element, it is necessary to create ensembles from the sets of signal structures for a different number of segments  $i$  in the code word.

**Keywords:** timed signal constructions, solving feedback link, capacity, redundancy, code, entropy.

УДК 621.762.8(088.8)

М.П. Пелех, І.І. Верхола

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

**ВПЛИВ РЕЖИМІВ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ WC-Co НА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ І ПРОБИВНУ ЗДАТНІСТЬ**

Досліджується вплив окислення твердосплавних виробів в атмосфері повітря при температурі 973–1273 К на їх експлуатаційну і пробивну здатність. Оскільки в процесі високотемпературного окислення фазовий склад сплаву змінюється кількісно, що в свою чергу спричиняє зміну механічних характеристик, то здатність твердих сплавів окислюватись дозволила створити ряд технологічних процесів для розмірної обробки і підвищення експлуатаційної міцності твердосплавних виробів. Одержані результати дали змогу визначити оптимальні температурні режими, за яких можна отримати структуру виробів із заданими експлуатаційними властивостями.

**Ключові слова:** твердий сплав, структурний і поверхневий склад, температура.

**Постановка проблеми**

Застосування твердих сплавів у якості вставок броньбійних куль, бурових доліт та апаратів

хімічних виробництв (апарати високого тиску, подрібнювачі-дробарки, штампи для переробки полімерних матеріалів та інші важконавантажені елементи) вимагає від них високої міцності,