

У даній статті на основі інформації про сумарну величину потоку відмов і типових калькуляцій робіт по усуненню наслідків відмов розроблено модель економічного збитку від можливих відмов при здійсненні регулювання режимів в системі електропостачання тяги поїздів.

**Ключові слова:** система електропостачання тяги поїздів, економічний збиток, відмова, регулювання режимів.

This article presents the model of economic damage from possible failures during regimes regulation of power traction supply systems on the basis of information on the overall failure rate and standard price calculations of works.

**Keywords:** railway power supply system, economic damage, failure, regulation of regimes

УДК 691321.25

*Н. В. ЗАХАРЧЕНКО*, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ОНАС, Одесса;

*М. М. ГАДЖИЕВ*, канд. техн. наук, доц., ОНАС, Одесса;

*Е. М. МАРТИНОВА*, канд. техн. наук, доц., ОНАС, Одесса;

*С. И. ЛИСЕНКО*, инженер, ОНАС, Одесса

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ БЛОКОВЫХ ТАЙМЕРНЫХ КОДОВ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Проведены исследования и экспериментально установлено, что применение избыточных таймерных кодов, вместо позиционного обнаруживающего ошибки блокового кодирования в системах с решающей обратной связью современных городских телефонных сетей позволяет повысить пропускную способность каналов на всем интервале святы без потери качества информации.

**Ключевые слова:** таймерные сигнальные конструкции, канал модели Гильберта, отношение сигнал/шум, скорость передачи.

**Введение.** Известно, что скорость передачи информации в системах с решающей обратной связью (РОС) при разрядно-цифровом кодировании (РЦК) определяется как [1]

$$V_{\pi} = \frac{m}{n} \cdot \frac{(1-P_3)^n + P_3}{1 + N_{\text{кл}} [1 - (1-P_3)^n - P_3]}, \quad (1)$$

где  $m$  - число информационных элементов в избыточном блоковом коде;  $n$  - общее число элементов в кодовой комбинации, обнаруживающей ошибки ( $n = m + r$ ;  $r$  - число избыточных элементов);  $P_3$  - вероятность ошибочного приёма элемента;  $N_{\text{кл}}$  - число кодовых слов, повторяемых передатчиком по запросу принимающей стороны для исправления ошибки.

По аналогии с помехоустойчивыми кодами избыточность в адаптивных передающих системах (АПС) можно характеризовать коэффициентом полной избыточности [2]

$$R_{\text{uo}} = \frac{\bar{n}_0 - m}{\bar{n}_0}, \quad (2)$$

где  $\bar{n}_0$  - среднее число кодовых элементов длительностью  $t_0$ , затрачиваемых в обоих каналах на передачу  $m$  информационных элементов. При нулевой пропускной способности обратного канала  $\bar{n}_0 = \bar{n}_1$ , где  $\bar{n}_1$  - среднее число кодовых символов, затрачиваемых в прямом канале на передачу  $m$  единиц информации. При отсутствии

повторения  $\bar{n}_1 = n$  и  $R_{uo} = R_u$ . При этом величина  $R_{uo}$  зависит от типа обратной связи и логики работы системы

**Цель работы.** Целью работы является анализ и исследование влияния на качество и скорость передачи информации по каналам адаптивных систем с решающей обратной связью применяемых для этого методов и алгоритмов кодирования.

**Методика экспериментов.** На действующих адаптивных системах передачи с решающей обратной связью городских телефонных сетей г. Одессы и Николаева экспериментально были исследованы каналы связи с частотной модуляцией с эффективной полосой  $\Delta F=1000$  Гц при скорости модуляции  $V=100$  Бод ( $t_0=1$  мс). Длительность кодовых слов составляло  $T_c=8t_0$ , с четырьмя моментами модуляции. Измерения проводились с учетом влияния гауссового шума и импульсных помех.

**Обсуждение результатов.** Оценим значение коэффициента полной избыточности при условии, что в качестве прямого канала в системе с РОС используется канал ГТС, распределение ошибок в котором соответствует табл. 1

Таблица 1 - Удельный вес кратности ошибок в ошибочных кодовых словах

$P_s(\geq 1, n)$	1	2	3	4	5	6	7	8
$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,58	0,32	0,06	0,02	0,015	0,002	0,0015	0,0005

Предположим, что код должен обнаруживать ошибочные кодовые слова кратности  $t_{ош} \leq 5$ . Следовательно остаточная вероятность ошибки ( $t_{ош} > 5$ ) при использовании простого -элементного кода составит

$$P_{ост} = P_s(6) + P_s(7) + P_s(8) = 4 \cdot 10^{-3}.$$

Средняя кратность ошибочных элементов в ошибочных кодовых словах равна [4]

$$\bar{t}_{xp} = \sum_{i=1}^8 C_i^8 \cdot P_{ys} \cdot i, \quad (3)$$

где  $P_{ys}$  - удельный вес ошибок кратности  $i$ . Подставив в (3) данные табл. 1, получим

$$\bar{t}_{xp} = 0,58 \cdot 1 + 0,32 \cdot 2 + 0,06 \cdot 3 + 0,02 \cdot 4 + 0,015 \cdot 5 + 0,002 \cdot 6 + 0,0015 \cdot 7 + 0,0005 \cdot 8 = 1,5815, \text{ элемента.} \quad (4)$$

В работе [3] установлена аналитическая зависимость  $\bar{t}_{xp}$  и коэффициента группирования  $\alpha$

$$\alpha = \frac{\ln \bar{t}}{\ln n}. \quad (5)$$

Для полученного значения  $\bar{t}_{xp}$  коэффициент группирования будет равен

$$\alpha = \frac{\ln 1,5815}{\ln 8} = 0,22, \quad (6)$$

что характеризует данный канал как канал модели Гильберта [4], имеющей два состояния с относительными значениями времени:

–канал в “хорошем” состоянии, время существования которого  $t_x \geq 0,995$  от общего времени передачи ( $T_{nep}$ );

–канал в “плохом” состоянии, для которого  $t_n \leq 0,005T_{nep}$ .

В таблице 2 приведены удельные значения потерь на повторения в радиорелейном телефонном канале ( $-\delta$ ) для избыточных кодов длиной  $n \in 15; 31; 63; 127$ .

Таблица 2 – Потери на повторения в радиорелейном телефонном канале

$n$	$m$	$R=m/n$ (расчетная)	$R=m/n$ (экспериментальная)	$-\delta$
15	8	0,53	0,527	0,003
31	24	0,77	0,765	0,005
63	56	0,88	0,874	0,006
127	120	0,944	0,903	0,04

Из табл. 2 следует, что потери на повторения составляют  $\delta < 0,1 \%$ .

Известно, что число проверочных элементов в кодовых конструкциях определяется согласно теореме синтеза избыточных кодов [5], которая формулируется следующим образом: если при заданных параметрах  $n$ ,  $m$  и  $d_0$  выполняется неравенство

$$2^{n-m} \geq \sum_{i=0}^{d_0-2} C_{n-1}^i, \quad (7)$$

то существует  $(n, m, d_0)$  код, который реализуется с помощью не более  $n - m$  проверок на четность". Именно число проверок определяет число избыточных элементов  $r$ .

В приложениях [4] рассчитаны значения числа проверочных элементов при известных  $m$  и  $d$ . Так для  $m = 8$  и  $d = t_{обн} + 1 = 5 + 1 = 6$  количество проверочных элементов  $r = 13$ . Получаем циклический код (21, 8) с эффективностью  $R = \frac{8}{13+8} = 0,38$ .

Оценим эффективность использования таймерных сигнальных конструкций (ТСК) для уменьшения потерь в скорости передачи [5]. В ТСК информация о предыдущем символе содержится в длительностях нескольких отдельных временных отрезков сигнала  $\tau_c$  на интервале конструкции  $T_c$  и их взаимном положении. С целью уменьшения межсимвольных искажений длительность отрезков берется не менее найквистового интервала  $t_c = t_0 + k\Delta$  ( $k \in 0, 1, \dots, l$ ). Временной отрезок  $\Delta$  показывает часть единичного элемента  $t_0 > \Delta = \frac{t_0}{s}$  и определяется как помехами в канале, так и допустимой вероятностью ошибочного приёма сигнальной конструкции в "хорошем" состоянии канала ( $s \in 2, 3, 4, \dots$ ).

С целью уточнения соотношения (сигнал/помеха) в "хорошем" состоянии были проведены измерения числа выбросов сдвигов значащих моментов восстановления (ЗМВ) за величину двух фиксированных зон ( $\Delta_1 = \frac{t_0}{14}, \Delta_2 = \frac{t_0}{25}$ ) при работе по каналу ГТС с частотной модуляцией с эффективной полосой  $\Delta F = 1000$  Гц при скорости модуляции  $B = 1000$  Бод ( $t_0 = 1$  мс). В таблице 3 приведены результаты одного фрагмента одновременных измерений числа сдвигов ЗМВ за указанные зоны на каналах Одесской ГТС. При этом передавались кодовые слова длительностью  $T_c = 8t_0$ , которые имеют по четыре момента модуляции.

Таблица 3 – Результаты одного фрагмента одновременных измерений числа сдвигов ЗМВ при  $T_c = 8t_0$

Величина зоны $\Delta$ , %	Число кодовых слов $N_{\text{КС}}$	Число моментов модуляции $N_{\text{ММ}}$	Число выбросов $N(\theta > \Delta)$	$P_B$	$\sigma_c$
7,14	73676	294704	326	$1,106 \cdot 10^{-3}$	2,41
4	73676	294704	6982	$2,3 \cdot 10^{-2}$	1,96

Значения среднеквадратического отклонения  $\sigma_c$  значащих моментов воспроизведения (ЗМВ) были определены на основе измерений таблицы 3 через интеграл вероятностей [6]

$$\left. \begin{aligned} P_s &= \frac{N(\theta > \Delta)}{N_{\text{неп}}} = 1 - 2\Phi(z); \\ \Phi(z) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz; \\ z &= \frac{\Delta}{\sigma_c}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Так как в процессе измерений в “хорошем” состоянии канала на сигнал влиял гауссовый шум, а также прерывания и импульсные помехи (канал коммутируемый), число которых за время измерения более сотни, то более близким к реальному

значение следует считать то значение, при котором число выбросов на много больше числа прерываний (занижений) сигнала в коммутируемом канале, т.е. при

. В результате расчетов для указанного значения было получено среднеквадратическое отклонение ЗМВ на выходе канала в «хорошем» состоянии

[ ].

Учитывая функциональную зависимость среднеквадратического отклонения и отношения сигнал/шум для канала с ЧМ [5]

$$\sigma = \frac{1}{4h}, \quad (9)$$

то можно утверждать, что на интервале “хорошего” состояния соотношение сигнал/шум  $h \geq 10$ . Следовательно, в “хорошем” состоянии канала даже при некогерентном приеме вероятность ошибочного приёма элемента составит [3]  $P_{\text{ex}} < (10^{-8} \div 10^{-9})$ .

Если в “плохом” состоянии вероятность ошибки стремится к 0,5, то средняя вероятность ошибочного приёма на выходе канала

$$\bar{P} = k_n \cdot P_{\text{en}} + k_x \cdot P_{\text{ex}} = 0,01 \cdot 0,5 + 0,99 \cdot 10^{-8} = 5 \cdot 10^{-3}, \quad (10)$$

где  $k_n, k_x$  – относительные величины времени “плохого” и “хорошего” состояний канала.

Следовательно, полученные значения  $P_{\text{ex}}$  и  $P_{\text{en}}$  подтверждают, что исследуемый

канал описывается моделью Гильберта.

С целью проверки уровня помех в “хорошем” состоянии канала и оценки устойчивости нуль-переходов в “плохом” состоянии канала на интервале  $m = 8$

было синтезировано множество таймерных сигнальных конструкций,

удовлетворяющих условию качества (11) по модулю  $A_0 = 19$  при коэффициентах  $A_1 = 2; A_2 = 3; A_3 = 7$  при постоянном количестве ЗММ  $i = 3$  и  $S=7$ . То есть уравнение качества имеет вид

$$2x_1 + 3x_2 + 7x_3 = 0 \pmod{19}. \quad (11)$$

Результаты передачи одного фрагмента по каналам Николаевской ГТС представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Передача одного фрагмента кодовых конструкций, удовлетворяющих условию уравнения качества, по каналам Николаевской ГТС

	Количество кодовых конструкций (КК)	Отношение всех КК к общему числу переданных символов, %	Отношение ошибочно принятых КК к общему числу принятых символов, %
Передано	90000	100 %	-
Принято верно ( $i=3$ , удовлетворяющих условию качества (11))	89349	99,28 %	-
Всего принято с ошибками	651	0,72 %	100 %
Принято со смещением 1-го ЗМВ на величину 1-го $\Delta$	518	0,58 %	79,57 %
Принято с изменением числа ЗМВ ( $i \neq 3$ )	129	0,14 %	19,82 %
Из них конструкций, в которых:	14	0,016 %	2,1 %
- 1-н из полученных ЗМВ совпал с переданным;	53	0,059 %	8,14 %
- 2-а из полученных ЗМВ совпало с переданными;	62	0,069 %	9,52 %
- 3-и из полученных ЗМВ совпало с переданными			
Принято кодовых слов с числом ЗМВ $i=3$ при невыполнении условия (11)	4	0,004 %	0,61 %

Как видно из табл. 4 основная доля ошибок припадает на конструкции, принятые со смещением одного ЗМВ в пределах зоны  $\Delta$ , вероятность же смещения одновременно двух и более переходов гораздо меньше.

Зная вероятность того, что в кодовом слове сместится только один ЗМВ на величину 1  $\Delta$  среднеквадратическое отклонение ЗМВ составит

$$P_{см} = 1 - 2\Phi\left(\frac{1,5\Delta}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{0,5\Delta}{\sigma}\right) = \frac{518}{4 \cdot 90000} = 1,43 \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

следовательно  $\Phi\left(\frac{0,5\Delta}{\sigma}\right) = 0,4992$ ;  $\Phi(z) = 0,4992$ ;  $z = 3,2$ , откуда  $\sigma = \frac{0,5\Delta}{z} = \frac{0,1428}{2 \cdot 3,2} = 0,022$ .

**Выводы.** Использование избыточных таймерных кодов в системах с решающей обратной связью вместо позиционного обнаруживающего ошибки блокового кодирования позволяет получить выигрыш по скорости передачи информации практически без потери её качества.

**Список литературы:** 1. Зюко, А. Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации [Текст] / А. Г. Зюко, А. И. Фалько, И. П. Панфилов, В. Л. Банкет, П. В. Иващенко – М. Радио и связь, 1985, - 272 с. 2. Блейкут, Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки [Текст] / Р. Блейкут – М. Мир, 1986. – 576 с. 3. Захарченко, В. Н. Методы повышения эффективности использования каналов связи [Текст] / В. Н. Захарченко, В. П. Гайда, А. П. Улеев, А. И. Липчанский – К.:Техника, 1998. – 248 с. 4. Захарченко, Н. В. Повышение эффективности блочного кодирования при работе по нестационарным каналам связи [Текст] / Н. В. Захарченко, С. М. Горохов, В. Н. Захарченко, М. М. Гаджиев, А. С. Крысько, М. А. Мамедов, Н. С. Салманов - Баку: “ЭЛМ”, 2009. – 362 с. 5. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн – М. «Наука», 1988, -720. 6. Захарченко, Н. В. Системы передачи данных [Текст] / Н. В. Захарченко – Одеса: Фенікс, 2009. – 448 с.

*Поступила в редколлегию 02.06.2013*

УДК 691321.25

**Эффективность применения корректирующих блочных таймерных кодов в адаптивных системах с решающей обратной связью / Захарченко Н. В., Гаджиев М. М., Мартынова Е. Н., Лысенко С. И. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 38 (1011). – С.140-145. – Бібліогр.: 6 назв.**

Проведені дослідження та експериментально встановлено, що використання надлишкових таймерних кодів, замість позиційного виявляючого помилки блочного кодування в системах з вирішальним зворотнім зв'язком сучасних міських телефонних мереж дозволяє підвищити пропускну здатність каналів на усім інтервалі зв'язку без втрати якості інформації.

**Ключові слова:** таймерні сигнальні конструкції, канал моделі Гільберта, відношення сигнал/шум, швидкість передачі.

Studies and experimentally found that the use of redundant timer code instead positional error detecting block coding in systems with critical feedback modern urban telephone networks can increase throughput on all channels of communication range without loss of quality information.

**Keywords:** timer signal design, channel models Gilbert, the signal / noise rate.