

\*\*\*

*R. R. Saubanov*, Senior Lecturer, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

*R. M. Aleev*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

*V. V. Zvezdin*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

*R. M. Galiev*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

*R. R. Rakhimov*, Magstrand, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

#### Method of Measurement the Informative Parameter on the Basis of Physical and Optical Methods of Research

*The article presents the analysis of the experimental research results of plasma interaction with a metal surface. The instability of the process quality is detected. For its stabilization, it is necessary to investigate spectral characteristics of the radiation of the plasma.*

**Keywords:** plasma technological complex, heat treatment, automatic control system, quality indicators, zone of thermal influence, technological process, gas medium

Получено: 05.04.11

УДК 621.391.037.3

: . . . *Kbfmrbg* , старший преподаватель;

□ *G. Dhiukh\* , кандидат технических наук, доцент;

*V. A. Debphi\* , доктор технических наук, профессор

Ижевский государственный технический университет

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ КАНАЛА С ГРУППИРОВАНИЕМ ОШИБОК \*

*Жкfhlgū hijhku ihkljhgby kbklf pbdehlc kbgojhgbaZpbb ijb bkihevahZgbb fhqghh i\_-  
jfgby . wheggZ hpgdZ wnnqlbghklb bkihevahZgby fZjdjh\ gZ hkggh\ F-ihkehZ -  
levghklb .*

**Ключевые слова:** цикловая синхронизация, кодирование, перемежение

Многолучевое распространение сигналов в КВ-канале приводит к возникновению замираний, которые снижают отношение сигнал/шум (ОСШ), а также вызывают сдвиги и срывы синхронизации. Следствием этого являются длительные пакеты ошибок. Для защиты от замираний используются различные способы разносенного приема. Частным случаем временного разносения является кодирование с перемежением, информация при этом передается не последовательно, что требует разработки алгоритма, обеспечивающего цикловую синхронизацию [1] для последующего восстановления информационных последовательностей.

В существующих системах, использующих перемежение (CDMA, DRM, ALE), данный тип синхронизации обеспечивается по параллельным синхронизирующим каналам [2]. Использование для синхронизации дополнительного канала с кодовым

© Симушин А. А., Копысов А. Н., Климов И. З., 2011

\* Работа выполнена в рамках государственного контракта № 16.740.11.0433 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

разделением, например в CDMA, не всегда рентабельно, поскольку средства на его обработку будут отличаться технической сложностью, а сам канал будет отличаться низкой надежностью. Система DRM использует особенности структуры сигнала, что неприменимо в ряде случаев. В статье рассматривается способ организации цикловой синхронизации с применением помехозащищенных синхронизирующих псевдослучайных последовательностей (ПСП).

Для приема и восстановления информационных структур, путем устранения перемежения, необходимо: знать структуру радиограммы; определить временное положение ее начала и конца. Второе условие требует соответствующих мер, которые необходимо реализовать в процессе приема. Для этого предлагается использовать синхронизирующие последовательности, выполняющие функции маркеров, обеспечивающие надежное определение положения принимаемого фрагмента относительно начала и конца радиограммы. Таким образом, задача алгоритма цикловой синхронизации сводится к обнаружению маркера и определению его значения. Подобная организация цикловой синхронизации характерна для систем с временным разделением [1, 3, 4]. Для декаметрового канала такое построение не обеспечивает требуемые показатели качества. Необходимо предусмотреть дополнительные средства защиты синхрогрупп, обеспечивающих цикловую синхронизацию и выполнить оценку помехозащищенности предлагаемой структуры маркеров.

При организации блочного перемежения передаваемое сообщение разбивается на фрагменты фиксированной длины – блоки перемежения (БП). Такой блок удобно представить в виде матрицы, передача значений которой осуществляется по столбцам, в то время как кодовые слова расположены в строках. Перед каждым блоком ставится маркер. Для адаптации системы синхронизации к условиям КВ-канала предлагается ввести в структуру БП маркер и сделать разнесенным по времени, распределив его фрагменты на значительном временном промежутке и обеспечив тем самым защиту от группирующихся ошибок. Общий вид структуры блока перемежения показан на рис. 1. Здесь элементы  $M_{i,j}$  представляют собой маркер, для формирования которого использованы ПСП длиной  $n$  бит, совокупность которых создает в блоке перемежения ряд полей, содержащих информацию, необходимую для приема и декодирования радиограммы.  $K_{i,j}$ , в свою очередь, – элементы информационной последовательности, для передачи которой используется код с параметрами  $(n, k_2)$ , где  $k_2$  – информационная емкость кода.

$$\left[ \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{cccc} M_{1,1} & \dots & M_{1,k_1} & \dots & M_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{s,1} & \dots & M_{s,k_1} & \dots & M_{s,n} \end{array} \right] \\ \left[ \begin{array}{cccc} C_{s+1,1} & \dots & C_{s+1,k_2} & \dots & C_{s+1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{N,1} & \dots & C_{N,k_2} & \dots & C_{N,n} \end{array} \right] \end{array} \right] \begin{array}{l} M \\ C \end{array}$$

Рис. 1. Структура маркера и информационной части в блоке перемежения

Параметр  $N$  определяет величину разнесения бит кодовых слов, которая должна превышать возможную длительность возникающего пакета ошибок. Величина  $n$  определяется длиной используемого кода и задает количество столбцов матрицы.

На рис. 2 приведен вариант построения устройства, выполняющего обнаружение начала и декодирования радиогаммы. Прием осуществляется с использованием линии задержки (ЛЗ), длина которой определяется информационной емкостью БП. Поток информации, проходя через линию задержки, сохраняется в буфере для дальнейшего декодирования. Представленный на рисунке  $z^{-1}$  – элемент линии задержки на 1 такт.

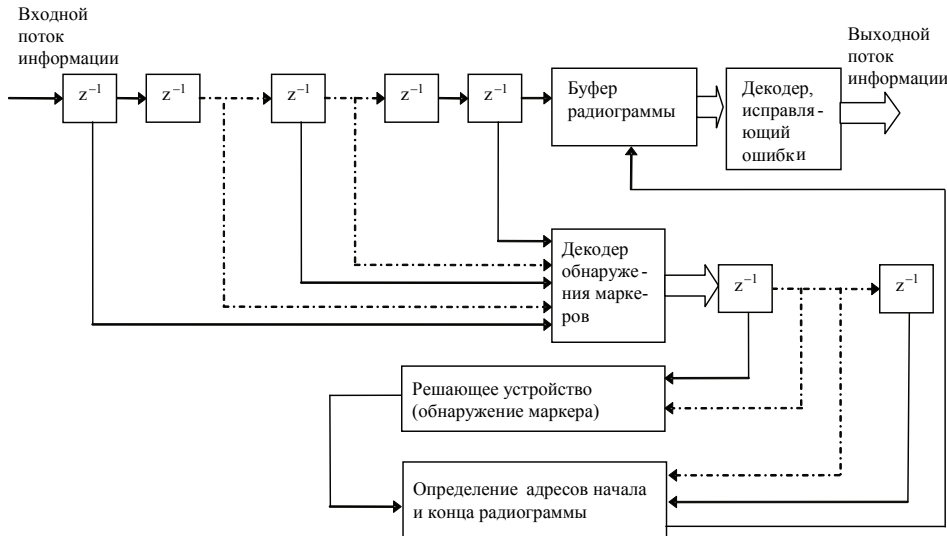


Рис. 2. Функциональная схема устройства, обеспечивающего цикловую синхронизацию

Параллельно с записью данных в буфер осуществляется непрерывное сканирование принимаемого потока данных с целью обнаружения синхронизирующих последовательностей. С выходов элементов ЛЗ данные подаются на декодер обнаружения, который вычисляет значения полей маркера. Решающее устройство анализирует эти поля и принимает решение о приеме блока перемежения. Два дополнительных поля маркера содержат информацию об общем количестве маркеров и номере текущего блока перемежения, они определяют адрес начала и конца радиогаммы в буфере. После обнаружения маркера процедура поиска прекращается, а декодер обнаружения включается лишь в моменты приема последующих маркеров, для проверки и корректировки значений, полученных при обнаружении.

При выборе маркера необходимо использовать последовательность, удовлетворяющую ряду требований:

- 1) характерной структурой – для реализации процедуры обнаружения, маркер должен обладать хорошими корреляционными свойствами;
- 2) высокой помехозащищенностью – неверное обнаружение последовательности приводит к значительным потерям информации;
- 3) информационной емкостью – для определения временного положения маркера относительно начала и конца радиогаммы.

Указанным свойствам в полной мере удовлетворяют последовательности Хаффмана (M-последовательности) [5], обнаружение которых возможно при зна-

чительном уровне ошибок. Они представляют собой циклические коды с весом [6, 7] и характеризуются постоянным кодовым расстоянием:

$$d_M = \frac{n+1}{2}. \quad (1)$$

Параметры такой циклической кодовой комбинации  $(n, k_1)$  связаны зависимостью:

$$n = 2^{k_1} - 1. \quad (2)$$

Для приема и обнаружения последовательностей Хаффмана допустимо использовать любой из методов декодирования кодов с указанными свойствами. При обнаружении маркеров в ходе имитационного моделирования использовался декодер циклических кодов с «вылавливанием ошибок» в области проверочных символов [7]. Также предполагалось, что последовательности ошибок в кодовом слове распределены в соответствии с биномиальным законом.

В сложных условиях декодер становится источником дополнительных ошибок. При этом кратность ошибки кодового слова на выходе декодера превышает кратность ошибки на входе. Для исключения случаев увеличения кратности необходимо выполнить соотношение:

$$k_1 \leq \frac{d_M}{2}. \quad (3)$$

С учетом выражений (1) и (2) минимальное значение  $k_1$  составит 4 бита. Таким образом, для последовательностей Хаффмана, длиной 15 бит и более, не происходит увеличения кратности ошибки после декодирования. Это обусловлено тем, что кратность исправляемой ошибки совпадает с информационной емкостью.

При выборе последовательности следует учитывать ряд факторов, таких как вероятность ложного обнаружения и вероятность пропуска. При вычислении вероятности ложных обнаружений необходимо учесть объем алфавита кодовой системы. Поскольку прием осуществляется на линию задержки, то до обнаружения маркера на декодер подается поток произвольной информации. При использовании декодера «жестких решений» все кодовые слова, поступающие на его вход, преобразуются в разрешенные. При условии, что возникновение того или иного символа на входе декодера является равновероятным, вероятность ложного обнаружения маркера равна

$$p_{л,о} = 2^{-k} = \frac{1}{n+1}, \quad (4)$$

где  $2^k$  – объем алфавита системы, включая и нулевое кодовое слово.

Соотношение (4) показывает, что увеличение длительности последовательности Хаффмана позволяет снизить вероятность ложного обнаружения, но данный способ недостаточно эффективен. Более эффективно снизить вероятность ложного обнаружения позволяет дублирование последовательности. Выражение (4) при этом преобразуется:

$$p_{л,о} = 2^{-k-m} = (n+1)^{-m}, \quad (5)$$

где  $m$  – количество М-последовательностей в пределах одного маркера.

Для иллюстрации предлагаемого метода построения системы цикловой синхронизации выполнен расчет вероятности ложных обнаружений для следующих исходных данных: для формирования маркера использованы три различные ПСП длительностью 63, 31 и 15 бит (1). В результате расчетов по формуле (5) было установлено, что значение вероятностей ложного обнаружения для выбранных ПСП составляет  $1,5 \cdot 10^{-2}$ ,  $9,8 \cdot 10^{-4}$  и  $1,5 \cdot 10^{-5}$  соответственно. Таким образом, в зависимости от требований, предъявляемых к вероятности ложных обнаружений, представляется возможным выбрать два маркера с минимальными вероятностями ложного обнаружения (рис. 3).

$$M = \begin{matrix} \left[ \begin{array}{l} \dots\dots \text{Поле\_маркера1\_}(15,4)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Поле\_маркера2\_}(15,4)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Поле\_маркера3\_}(15,4)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Поле\_маркера4\_}(15,4)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Количество\_БП\_}(15,4)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Номер\_БП\_}(15,4)\dots\dots \end{array} \right] \\ Z \end{matrix} \quad M = \begin{matrix} \left[ \begin{array}{l} \dots\dots \text{Поле\_маркера1\_}(31,5)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Поле\_маркера2\_}(31,5)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Количество\_БП\_}(31,5)\dots\dots \\ \dots\dots \text{Номер\_БП\_}(31,5)\dots\dots \end{array} \right] \\ I \end{matrix}$$

Ил. 3. Оптимальные структуры маркеров на основе M-последовательности:  
Z – 15 бит; I – 31 бит

Для принятия решения об обнаружении маркера необходимо безошибочно декодировать  $m$  последовательностей Хаффмана. Однако данное условие является «жестким», что, в свою очередь, может приводить к пропуску маркера. При этом вероятность пропуска определяется выражением

$$P_{\text{пр}} = 1 - P_{\text{исп}}^m. \quad (6)$$

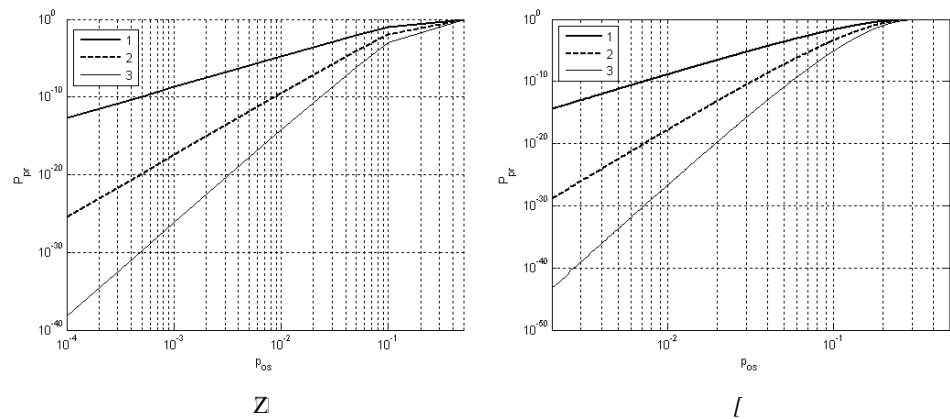
Здесь  $P_{\text{исп}}$  – вероятность безошибочного приема кодового слова с учетом исправления ошибок:

$$P_{\text{исп}} = (1 - p_{\text{ош}})^n + \sum_{i=1}^n D_i \cdot p_{\text{ош}}^i (1 - p_{\text{ош}})^{n-i}, \quad (7)$$

где  $p_{\text{ош}}$  – вероятность ошибки на бит;  $D_i$  – число исправляемых ошибок кратности  $i$ , полученное при имитационном моделировании.

В ходе исследований были получены зависимости вероятности пропуска маркера от вероятности ошибки на бит (рис. 4). Установлено, что при наличии в радиограмме нескольких маркеров происходит снижение вероятности пропуска по экспоненциальному закону. Поскольку в маркер введена нумерация, позволяющая определить адрес начала и конца радиограммы, то успешным обнаружением считается любое обнаружение маркера независимо от его положения в радиограмме.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 4, показывает, что использование маркеров на основе последовательности Хаффмана длиной 31 бит (рис. 3, I) обеспечивает меньшую вероятность пропуска в сравнении с маркером на основе последовательностей длиной 15 бит (рис. 3, Z). В структуру радиограммы для снижения вероятности пропуска следует вводить несколько маркеров. При этом приемлемые значения вероятности пропуска могут быть получены при наличии трех маркеров, построенных в соответствии с рис. 3, Z, или двух на основе маркера – рис. 3, I.



Вк . 4. Зависимости вероятности пропуска маркера от вероятности ошибки на бит при наличии одного двух или трех маркеров в радиограмме: Z – на основе последовательности 15 бит; I – на основе последовательности 31 бит

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Для адаптации системы синхронизации к условиям КВ-канала предлагается ввести маркер в структуру блока перемежения и сделать разнесенным по времени, что повышает помехозащищенность при характерных для диапазона группирования ошибок.
2. Для снижения вероятности ложных обнаружений M-последовательностей использование дублирования является более эффективной мерой, чем увеличение ее длительности.
3. Получены структуры маркеров на основе последовательностей Хаффмана, которые характеризуются вероятностью ложных обнаружений не более  $10^{-3}$ . Расчеты показали, что рекомендуется использовать при формировании маркера длиной последовательности не менее 15 бит.
4. Нумерация блоков перемежения позволяет определить положение начала и конца радиограммы по любому фрагменту, содержащему маркер. Наличие нескольких маркеров дает возможность снизить вероятность пропуска.

#### Список литературы

1. Djārd ; . B., IhiZglhghimeh < . G., RmZeh\ < . I . Телекоммуникационные системы и сети : учеб. пособие : в 3 т. Т. 1 : Современные технологии. –3-е изд., испр., доп. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2003. – 647 с.
2. CDMA: прошлое, настоящее, будущее : моногр. / Л. Е. Варакин, С. А. Анфилофьев, В. В. Калмыков и др. ; под ред. Л. Е. Варакина, Ю. С. Шинакова. – М. : Междунар. акад. связи, 2003. – 601 с.
3. ГОСТ 27285–87. Параметры сопряжения коммутационных систем с цифровыми системами передачи. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 10 с. URL: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&month=-1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=132961> (дата обращения: 13.05.2011).
4. ОСТ 45.145–2001. Сопряжение цифровых автоматических телефонных станций и цифровых систем передачи. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 42 с.
5. <img alt="broken image icon" data-bbox="340 700 365 715"/> E. ?. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с. URL: [http://reslib.com/book/Sistemi\\_svyazi\\_s\\_shumopodobnimi\\_signalami](http://reslib.com/book/Sistemi_svyazi_s_shumopodobnimi_signalami) (дата обращения: 13.05.2011).

6. Кодирование информации (двоичные коды) / Н. Т. Березюк, А. Г. Андрущенко, С. С. Мощицкий и др. – Харьков : Выща шк., 1978. – 252 с.

7. J. Theoria i praktika kodov, kontroliрующих ошибки = Theory and Practice of Error Control Codes. – М. : Мир, 1986. – 576 с.

\*\*\*

A. A. Simushin, Senior Lecturer, Izhevsk State Technical University

A. N. Kopysov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

I. Z. Klimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

### The Development of Cycle Synchronization System for a Chanel with Burst Errors

A construction of cycle synchronization systems using block interleaving is considered. The efficiency estimation of markers on the basis of M-sequence is executed.

**Keywords:** cycle synchronization, coding, interleaving

Получено: 24.03.11

УДК 620.179.16

✉ : . KljbZd , кандидат технических наук, доцент;

□ < Ijyobg , заведующий лабораториями;

Ижевский государственный технический университет

Кл : . Hfnoh\ , инженер;

ООО «ЛДЦ МИБС – Ижевск»

□ ; : . ijfth\ , учебный мастер

Ижевский государственный технический университет

### ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ВОЗБУЖДЕНИЯ, ПРИЕМА, РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ\*

Кnhfmebhzu ljZgby d mgbjkZevghc bgnhifZpbhggh -baffblevghc kklf\_ , ijZagZ -  
qgghc ey bZghklbdb gZiyggh -hijfbjhZgghh b kljndlmjghh khklygby wedljihjhh -  
sbo hfdlh\ wedljhfZgblgh -Zdmklbqkdbf flhf . IjklZegu kljndlmjgZy kofZ kklfu  
b hkghgu\_ \_ ehdb , hkiqbZxsb\_ hafngb\_ , ijb\_ , jkljZpbx b hfZhldm Zdmklbqkdbo  
kbZeh\ \ mkehbyo kemqZcguo wedljhfZgblguo ihfo . Ijhbtky hibkZgb\_ kipbZebabjhZgghh  
ijhZffghh hkiqgby .

**Ключевые слова:** электромагнитно-акустические преобразователи, скорость ультразвука, аппаратно-программное обеспечение

#### Введение

Развитие методов неразрушающего контроля с использованием бесконтактных электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей обусловлено рядом существенных эксплуатационных достоинств, в частности: возможностью контроля через воздушный зазор без применения контактных жидкостей, в том числе в условиях высоких температур; отсутствием износа ЭМА преобразователей; независимо-

© Стрижак В. А., Пряхин А. В., Обухов С. А., Ефремов А. Б., 2011

\* Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы Министерства образования и науки Российской Федерации «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» (регистрационный номер 2.1.2/12069).