



УДК 621.391.15

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ  
ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ****ABOUT ONE WAY SYNCHRONIZATION CYCLE BROADBAND SIGNALS****С.П.Белов, Е.Г. Жилияков, А.С. Белов, С.А. Рачинский  
S.P. Belov, E.G. Zhilyakov, A. S. Belov, S.A. Rachinskii***Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85  
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia**e-mail: belov@bsu.edu.ru, zhilyakov@bsu.edu.ru, belov\_as@bsu.edu.ru, 677110@bsu.edu.ru*

*Аннотация.* В настоящее время в области разработки методов формирования широкополосных сигналов для современных систем спутниковой связи одним из перспективных направлений является использование специальных кодов и новых методов расширения спектра. Однако, целесообразность применения того или иного класса сигналов в любой информационно-телекоммуникационной системе (ИТС) во многом определяется возможностями создания эффективных устройств их синхронизации. В связи с этим в работе предлагается способ цикловой синхронизации сложных сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), в основе которого лежит учет особенности их формирования.

*Annotation.* Currently, the development of methods of generating wideband signals for modern satellite communications systems, one of the promising areas is the use of special codes and new methods of spreading. However, the usefulness of a particular class of signals in any system of information transmission is largely determined by the possibilities of creating effective devices to synchronize them. In this regard, we propose a way to frame synchronization of complex signals with linear frequency modulation (LFM), which is based on taking into account peculiarities of their formation.

*Ключевые слова:* псевдослучайные последовательности, линейно-частотно модулированный сигнал, цикловая синхронизация

*Keywords:* pseudo-random sequence, linear-frequency modulated signal, frame synchronization

**Введение**

Интенсивный рост объемов информационного обмена порождает проблему повышения эффективности использования ИТС. Одним из направлений решения которой является минимизация затрат частотно-временных ресурсов ИТС на основе совершенствования методов формирования и обработки канальных сигналов.

В настоящее время усилия специалистов в области телекоммуникаций направлены на исследование эффективности канальных сигналов, созданных на основе специальных кодов и новых методов расширения спектра [1-2]. В частности, в работе [3] был предложен один из таких классов сигналов (ПС ЛЧМ), в котором объединены положительные свойства как ЛЧМ сигналов, так и псевдослучайных последовательностей (ПСП).

Указанный класс сигналов имеет большой объем слабокоррелированных форм при сохранении свойства инвариантности к доплеровскому рассогласованию по частоте, а, следовательно, позволяет минимизировать затраты частотно-временных ресурсов спутниковых ИТС при связи между подвижными объектами за счет рационального использования выделенной частотной полосы с обеспечением одновременного информационного обмена для большего количества абонентов.

Однако, целесообразность применения того или иного класса сигналов в любой ИТС во многом определяется возможностями создания эффективных устройств их цикловой синхронизации [4], которые в [3] не рассматривались.

Целью данной работы является разработка способа цикловой синхронизации ПС ЛЧМ сигналов, основанного на учете особенностей формирования указанных сигналов.

**Описание свойств ПС ЛЧМ сигналов**

В математическом виде ПС ЛЧМ сигнал, как известно [3], можно представить в виде следующего выражения:



$$S(t) = \begin{cases} S_0 \cdot \sum_{l=0}^{N-1} v_{l+1} \cdot \text{rect} \left[ \frac{t-1 \frac{T}{N}}{T_0} \right] \cdot \exp \left( j \left( \omega_0 \left( t-1 \frac{T}{N} \right) + \frac{\mu \left( t-1 \frac{T}{N} \right)^2}{2} \right) \right) + \\ + S_0 \cdot \sum_{l=0}^{N-1} (1-v_{l+1}) \cdot \text{rect} \left[ \frac{t-1 \frac{T}{N} - \tau_0}{T_0} \right] \cdot \exp \left( j \left( \omega_0 \left( t-1 \frac{T}{N} - \tau_0 \right) + \frac{\mu \left( t-1 \frac{T}{N} - \tau_0 \right)^2}{2} \right) \right); \\ 0, \text{ при } \left[ \frac{N-1}{N} \cdot T + T_0 + (1-v_N) \tau_0 \right] < t < 0 \end{cases} \quad (1)$$

где:  $S_0$  – амплитуда огибающей сигнала, в дальнейшем постоянная величина, равная 1;  $v_{l+1}$  – коэффициент, характеризующий состояние кодируемой последовательности и принимающий значения +1 или 0;  $\text{rect}(x)$  – прямоугольная «срезающая» функция, определяемая выражением:

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 \leq x \leq 1; \\ 0, & \text{при других } x. \end{cases}$$

$\omega_0$  – средняя частота ЛЧМ радиоимпульса;

$T$  – длительность информационной посылки;

$T_0$  – длительность ЛЧМ радиоимпульса;

$\tau_0$  – величина задержки между началом ЛЧМ радиоимпульса и началом элемента псевдослучайной последовательности, соответствующего нулевым значениям коэффициентов  $v_{l+1}$ ;

$\mu$  – крутизна модуляционной характеристики ЛЧМ радиоимпульса (скорость изменения частоты), связанная с его девиацией частоты  $\Delta F$  и длительностью  $T_0$  соотношением:

$$\mu = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta F}{T_0}$$

Анализ особенности формы огибающих функции взаимной неопределенности ПС ЛЧМ сигналов:

$$\chi_{ij}(\tau, F_d) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}_i(t) \cdot \dot{S}_j^*(t-\tau) \cdot \exp(j2\pi F_d t) dt \quad (2)$$

где:  $\tau$  – временной сдвиг между сигналами,

$F_d$  – доплеровский сдвиг частоты,

$E$  – энергия сигнала,

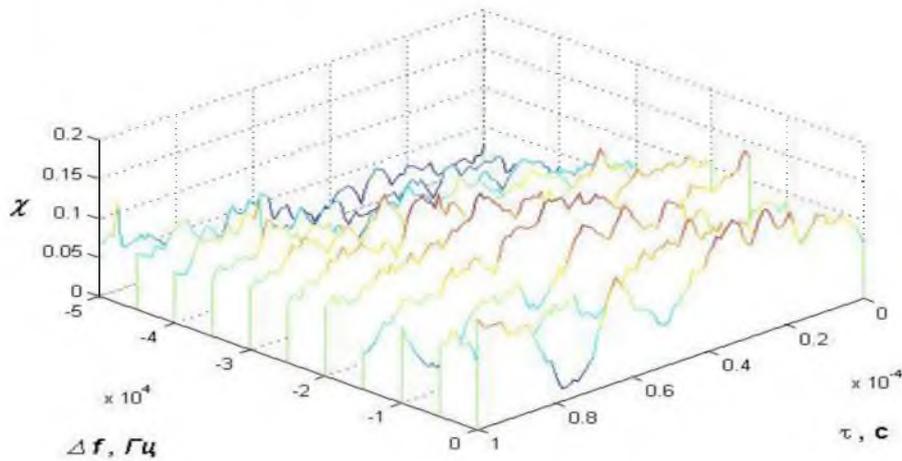
$\dot{S}_i(t)$  – огибающая принимаемого  $i$  – ого сигнала,

$\dot{S}_j^*(t-\tau)$  – комплексно-сопряженная огибающая  $j$  – ого сигнала комплексно описывающих все основные свойства сигналов на частотно – временной плоскости, один из характерных примеров которой, представлен на рис.1, позволил установить, что при модуляции ЛЧМ радиоимпульсов по задержке с помощью псевдослучайных последовательностей с различным числом элементов ( $N_i \neq N_j$ ) максимальный уровень бокового выброса огибающей ФВН не превышает величины

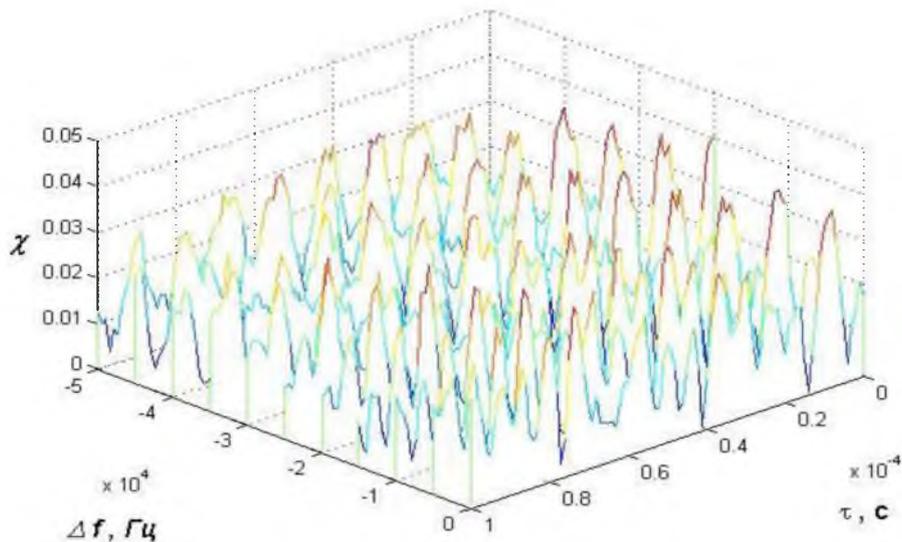
$$\frac{k}{\sqrt{N_i N_j}}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий число совпадений моментов возникновения одинаковых по значению элементов псевдослучайных последовательностей у различных ПС ЛЧМ сигналов (число совпадений моментов возникновения ЛЧМ радиоимпульсов).

Минимальный уровень бокового выброса огибающих ФВН можно получить при  $k=1$ , т.е. только в том случае, если  $N_i$  и  $N_j$  будут взаимно простыми числами. Типичные примеры огибающих ФВН ПС ЛЧМ сигналов, число элементов в КП которых являются взаимно простыми числами, представлены на рисунках 1 и 2.



*Рис.1.* Функция взаимной неопределенности ПС ЛЧМ сигнала при значении базы ЛЧМ радиоимпульса  $\Delta F * T_0 = 20, N_i = 17, N_j = 13$   
*Fig.1.* Function mutual uncertainty PS LFM signal when the value of the base radio pulse  $\Delta F * T_0 = 20, N_i = 17, N_j = 13$



*Рис.2.* Функция взаимной неопределенности ПС ЛЧМ сигнала при значении базы ЛЧМ радиоимпульса  $\Delta F * T_0 = 100, N_i = 67, N_j = 61$   
*Fig.2.* Function mutual uncertainty PS LFM signal when the value of the base radio pulse  $\Delta F * T_0 = 100, N_i = 67, N_j = 61$

На основании проведенных исследований было установлено, что единственное совпадения моментов возникновения ЛЧМ радиоимпульсов на длине существования одного ПС ЛЧМ сигнала произойдет только в том случае, если  $N_i$  и  $N_j$  являются взаимно простыми числами, т.е. согласно алгоритму Евклида, их наибольший из общих делителей будет равен 1.

### Описание способа цикловой синхронизации

Используя указанное свойство ПС ЛЧМ сигналов, был разработан способ цикловой синхронизации, суть которого состоит в следующем:

- формируют, как показано на рисунке 3, при «1» информационной посылке, с помощью первого линейного сдвигающего регистра кодовую бинарную последовательность из  $N_1$  (простое число) элементов, длительностью  $T = N_1 * \tau_{01}$ , где  $\tau_{01}$  – длительность одного элемента (бита), принимающих значение 1 и записывают в регистр памяти №1;
- формируют, как показано на рисунке 3, при «0» информационной посылке, с помощью второго линейного сдвигающего регистра кодовую бинарную последовательность из  $N_2$  (простое число) элементов, длительностью  $T = N_2 * \tau_{00}$ , где  $\tau_{00}$  – длительность одного элемента (бита), принимающих значение 0 и записывают в регистр памяти №2;

- с выхода регистра памяти №1 кодовая бинарная последовательность, соответствующая «1» информационным посылкам, поступает на вход генератора линейно изменяющегося напряжения №1, параллельно с этим, с выхода регистра памяти №2 кодовая бинарная последовательность, соответствующая «0» информационным посылкам на вход генератора линейно изменяющегося напряжения №2, на выходах которых формируются импульсы различной длительности, число которых, как видно из рисунка 2, равно  $N_1$  и  $N_2$  соответственно;

- импульсы с выхода генератора линейно изменяющегося напряжения №1 поступают на вход генератора ЛЧМ сигнала №1, параллельно с этим, импульсы с выхода генератора линейно изменяющегося напряжения №2 поступают на вход генератора ЛЧМ сигнала №2;

- сигналы с выходов генераторов ЛЧМ сигналов №1 и №2 через высокочастотные каскады поступают в канал связи;

- на приемной стороне ЛЧМ сигналы поступают на объединенный вход двух параллельно подключенных каналов, предназначенных соответственно для обработки «1» или «0» информационной посылки, в состав каждого из которых входят последовательно соединенные согласованный фильтр для обработки ЛЧМ сигнала и рециркулятор, в цепи обратной связи которого включен элемент задержки, равной  $\tau_{01}$  (в канале для обработки «1» информационной посылки) и равной  $\tau_{00}$  (в канале для обработки «0» информационной посылки), выходы обоих каналов через сумматор подключены к входу компаратора, на выходе которого появится сигнал только в том случае, если одновременно на выходах обоих рециркуляторов будет сигнал, т.е. в момент цикловой синхронизации. Время вхождения в режим цикловой синхронизации будет равно длительности одной информационной посылке.

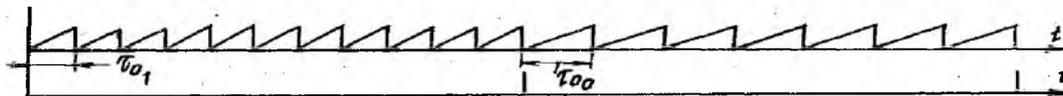


Рис.3. Временная форма ПС ЛЧМ сигнала

Fig.3. Temporal form PS LFM signal

### Заклучение

Предложенный способ цикловой синхронизации сложных сигналов с ЛЧМ, основанный на учете особенностей формирования указанного класса сигналов, позволяет значительно сократить время вхождения в синхронизм по сравнению с существующими подходами.

### Список литературы

#### References

1. Анжина В. А., Кузовников А.В., Кухтин В.К., Пашков А.Е., Сомов В.Г., Шайдунов Г.Я., Демаков Н.В. Способ формирования помехоустойчивых сигналов // Патент России № 2412551. Дата публикации 20.02.2011г.

Anzhina V. A., Kuzovnikov A.V., Kuhtin V.K., Pashkov A.E., Somov V.G., Shaydurov G.Ya., Demakov N.V. Sposob formirovaniya pomehoustoychivyyh signalov // Patent Rossii № 2412551. Data publikatsii 20.02.2011g.

2. Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. М.: Радио и связь, 2003. - 640 с.

Borisov, V.I. Pomehozaschischennost sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov modulyatsiy nesushey psevdosluchaynoy posledovatel'nostyu / Borisov V.I., Zinchuk V.M., Limarev A.E. M.: Radio i svyaz, 2003. - 640 s

3. Белов, С.П. Исследование функции неопределенности псевдослучайных сигналов с линейной частотной модуляцией / С.П. Белов, Е.Г. Жилияков, И.А. Сидоренко // Вопросы радиоэлектроники. Серия «РЛТ». - М., 2008. - Вып. 4. - С.100-109.

Belov, S.P. Issledovanie funktsii neopredelennosti psevdosluchaynykh signalov s lineynoy chastotnoy modulyatsiy / S.P. Belov, E.G. Zhilyakov, I.A. Sidorenko // Voprosyi radioelektroniki. Seriya «RLT». - M., 2008. - Vyip. 4. - S.100-109.

4. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов . М.: Сов. радио, 1970. - 375 с.

Varakin L.E. Teoriya slozhnykh signalov [Tekst]. M.: Sov. radio, 1970. - 375 s.