

## АНАЛИЗ АНСАМБЛЕВЫХ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

А.В. Северинов, В.П. Лысечко, А.С. Жученко  
(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

*В статье проведен анализ ансамблевых свойств сложных сигналов, полученных путем полосовой фильтрации спектров кодовых последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием.*

### *ансамблевые свойства, сложные сигналы*

**Постановка проблемы.** Применение сложных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами, полученных на основе полосовой фильтрации спектров кодовых последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием (МЭВ) в системах радиосвязи множественного доступа дает возможность значительно снизить уровень внутрисистемных помех за счет уменьшения значений максимальных выбросов боковых лепестков функций взаимной корреляции (ФВК) таких сигналов [1 – 3]. Применение таких ансамблей дает возможность значительно увеличить количество обслуживаемых абонентов подобных систем [6]. Однако, исследование ансамблевых свойств таких сигналов не проводилось. Определение объема ансамблей сигналов на основе кодовых последовательностей с МЭВ необходимо для дальнейшего применения разработанных сигналов в системах радиосвязи множественного доступа с кодовым разделением каналов. Поэтому проведение анализа ансамблевых свойств сигналов на основе кодовых последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием является актуальной задачей.

**Анализ литературы.** Ансамблевые свойства известных сигналов для систем радиосвязи с кодовым разделением каналов широко рассмотрены в литературе [5, 6], однако, для сигналов, построенных на основе полосовой фильтрации последовательностей с МЭВ такой анализ не проводился.

**Цель статьи.** Целью статьи является проведение анализа объема ансамбля сложных сигналов, полученных путем полосовой фильтрации кодовых последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием и разработка рекомендаций по их использованию в системах радиосвязи с кодовым разделением каналов.

**Основной материал.** Для выполнения условия минимального подбора двух сигналов одинаковой длительности, при этом уровень максимальных выбросов боковых лепестков их ФВК не должен превышать значения [2, 3, 5, 6]

$$\max R \leq \frac{\alpha}{\sqrt{B}}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, равный 1, 2, ..., 5;  $B$  – база,  $B = \Delta F \cdot T$ ,  $\Delta F$  – ширина спектра сигнала;  $T$  – длительность сигнала.

Удовлетворение указанных требований возможно за счет использования сигналов, полученных путем полосовой фильтрации последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием в разных областях частотного спектра с последующим переносом в общую полосу частот [1 – 3]. При этом, согласно [4], полоса фильтрации может составлять от 0,001% до 3% от общей ширины основного лепестка спектра последовательности с МЭВ с сохранением взаимокорреляционных свойств, удовлетворяющих (1) и приемлемых для практического применения указанных сигналов в системах радиосвязи с кодовым разделением каналов энергетических свойств (пик-фактора).

Согласно [5], среднее значение объема большой системы сигналов  $L_{cp}$ , при котором объем значительно больше базы сигнала будет определяться как

$$L_{cp} \geq C(\alpha) \frac{n^{\alpha-1}}{[\ln(an)]^{3/2}}, \quad (2)$$

где  $C(\alpha) = 3\pi^{1/2} a^{-\alpha} 2^{-2} \alpha^{3/2}$ ;  $n$  – количество импульсов в последовательностях;  $a \approx 1,6$  [5].

Принимая значение длительности сигнала равным  $T_c = 0,000875$  с, а длительность импульсов  $\tau_n = 10$  нс, и используя результаты, полученные в [1, 2, 3], примем, что полоса фильтрации равна 0,001% от ширины основного лепестка спектра последовательности с МЭВ. При этом, осуществляется полосовая фильтрация в различных полосах частот с последующим переносом полученных сигналов в общую область частот. Очевидно, что таких полос фильтрации можно реализовать до 100000. Обозначим коэффициент использования частотного спектра буквой  $k$ , который равен числу полос фильтрации. Пользуясь [1 – 3], определимся, что количество последовательностей коротких видеоимпульсов, которые можно получить из одной кодовой последовательности  $N$ , например, из ансамбля нелинейных последовательностей, равно 50. Такие последовательности удовлетворяют требованию (1) и относятся к ансамблю последовательностей с МЭВ. Количество нелинейных последовательностей в ансамбле  $L_{нл}$  при соответствующем количестве элементов в сигнале  $n$  приведено в табл. 1 [5, 6, 7].

Используя все последовательности ансамбля для формирования сигналов по методу, предлагаемому в [3], можно получить значение объема

$$L = N_{нл} N \cdot k = N_{нл} N \frac{\Delta F}{\Delta f}, \quad (3)$$

где  $\Delta F$  – ширина основного лепестка спектра последовательности с ми-

нимальным энергетическим взаимодействием;  $\Delta f$  – ширина полосы фильтрации последовательностей.

Принимая количество импульсов в последовательностях  $n = 40 \dots 9000$ ,  $\alpha = 3$ ,  $k = 1000$ ,  $N = 50$  были определены значения объема ансамблей сигналов, полученных путем полосовой фильтрации кодовых последовательностей с МЭВ и среднее значение объема большой системы сигналов. При этом учитывалось, что сигналы на основе последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием имеют неодинаковое количество импульсов в кодовых последовательностях [1]. Поэтому, исследование зависимости объема ансамбля таких сигналов выполнялось при изменении среднего квадратичного значения количества импульсов в последовательностях [1 – 4, 7]. В табл. 1 приведены результаты расчетов объема сигналов на основе последовательностей с МЭВ, а на рис. 1 представлен вид таких зависимостей.

Таблица 1

Объем ансамбля нелинейных последовательностей и сигналов на основе полосовой фильтрации последовательностей с МЭВ на их основе

n	40	100	256	1032	2088	9000
$L_{\text{нл}}$	$3,8 \times 10^3$	$8 \times 10^3$	$1,3 \times 10^8$	$1,5 \times 10^8$	$5,4 \times 10^8$	$8 \times 10^9$
$L_{\text{МЭВ}}$	$1,9 \times 10^9$	$4,0 \times 10^9$	$7,5 \times 10^{12}$	$6,5 \times 10^{13}$	$2,7 \times 10^{14}$	$4,0 \times 10^{15}$

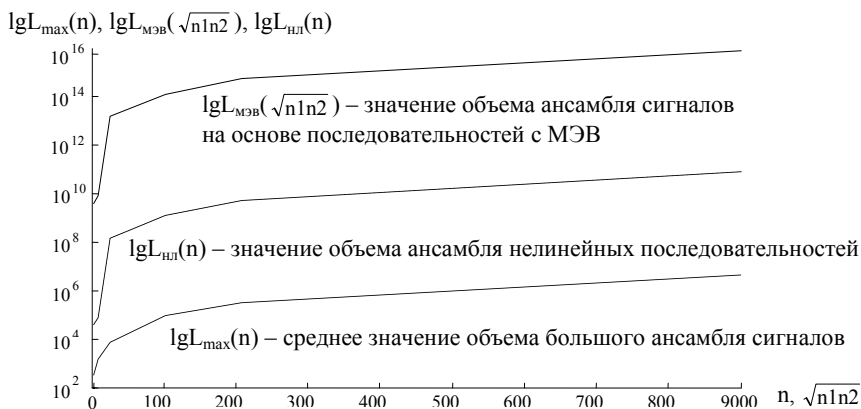


Рис. 1. Объем ансамбля сигналов при изменении количества импульсов в последовательностях

Из рис. 1 видно, что объем ансамбля сигналов на основе последовательностей с МЭВ удовлетворяет требованию к большому ансамблю (2) и в значительной мере превышает значение объема ансамбля нелинейных последовательностей при других равных условиях. Кроме того, учитывая, что образующими последовательностями для получения таких сигналов являются нелинейные последовательности с достаточно большими объемами ансамблей, можно утверждать, что объем ансамбля сигналов, полученных на основе последовательностей с МЭВ, будет превышать объем ансамбля

нелинейных последовательностей в  $N_k$  раз. То же можно отнести и к синтезу ансамблей сигналов на основе последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием, используя в качестве образующих кодовые последовательности других типов, например: М-последовательности, последовательности Голда, Фрэнка и других.

Поведенный анализ показывает, что ансамбли сигналов, полученных путем полосовой фильтрации последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием имеют объем, который при других равных условиях отличается от исходных последовательностей, т.е. пропорционален количеству полос фильтрации и принятому количеству последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием.

Это значит, что уменьшение длительности импульсов в последовательностях с МЭВ (расширение ширины спектра основного лепестка) приведет к возможности увеличения количества полос фильтрации и, соответственно к увеличению объема ансамбля сигналов при одинаковых взаимокорреляционных и других характеристиках сигналов.

**Выводы.** Проведенные исследования ансамблевых свойств сигналов с улучшенными корреляционными свойствами, полученных путем полосовой фильтрации кодовых последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием показали, что они обладают значительно большим объемом ансамбля, чем существующие сложные сигналы, применяемые в системах радиосвязи с кодовым разделением каналов. Это позволяет строить системы радиосвязи с кодовым разделением каналов с низким уровнем внутрисистемных помех.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лысечко В.П., Харченко В.Н. Метод борьбы с внутрисистемными радиопомехами // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 2. – С. 232-237.
2. Харченко В.Н., Лысечко В.П., Селевко В.Н. Метод формирования ансамблей сложных сигналов // Праці УНДІРТ. – О.: УНДІРТ – 2004. – № 4(40). – С. 63-68.
3. Лысечко В.П. Метод формирования ансамблей сложных сигналов на основе последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием // Системи озброєння і військова техніка. – 2005. – № 1(1). – С. 65-68.
4. Харченко В.Н., Яковлев М.Ю., Лысечко В.П. Анализ свойств сложных сигналов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 9(37). – С. 190-195.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
6. Пышкин И.М. Теория кодового разделения сигналов. – М.: Связь, 1980. – 208 с.
7. Петрович Н.Т., Размахнин М.К. Системы связи с шумоподобным сигналом. – М.: Советское радио, 1969. – 232 с.

Поступила 27.03.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор Ю.В. Стасев,  
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.