

УДК 621.396

## **Характеристики ансамблей линейных псевдослучайных последовательностей для системы связи множественного доступа с кодовым разделением каналов**

А. Ю. Сизякова\*, Ю. В. Семина

Исследованы вопросы выбора ансамблей псевдослучайных последовательностей (ПСП) разного объема для формирования шумоподобных сигналов (ШПС) в системах связи множественного доступа с кодовым разделением (МДКР). Системам МДКР свойственны взаимные и собственные помехи. Взаимные помехи возникают при поступлении на приемник системы радиосигнала, модулированного «чужой» ПСП, собственные — при запаздывании радиосигнала, модулированного ПСП, относительно его копии в приемнике. Уровни помех определяются значениями, которые принимают взаимнокорреляционные функции (ВКФ) и боковые лепестки автокорреляционных функций (АКФ). Для выбора ансамбля ПСП критерии выбора были сформированы таким образом, чтобы снизить уровень взаимных и собственных помех в системе связи с МДКР. Предпочтительнее выглядит критерий, определяющий уровни взаимных помех. В соответствии с выбранными критериями в ансамбль включаются ПСП, обладающие наименьшими значениями наибольшего значения модулей ВКФ и наименьшими значениями боковых лепестков модуля АКФ. Рассмотрены подклассы Касами с периодом 1023, Лежандра с периодом 1031 и Холла с периодом 1051, а также усеченные до периода 1023 ПСП подклассов Лежандра и Холла. Для сравнения приведены подклассы *M*-последовательностей и ПСП Голда с периодом 1023. В соответствии со стандартами, определяющими характеристики систем МДКР, *M*-последовательности и ПСП Голда нашли широкое применение в подобных системах связи. Были проанализированы АКФ и ВКФ всех ПСП каждого из рассматриваемых подклассов. Выявлены конкретные ПСП рассматриваемых подклассов с наименьшими уровнями наибольших значений модуля ВКФ и боковых лепестков модуля АКФ. Уточнены верхние граничные значения для ВКФ и боковых лепестков АКФ ПСП, рассматриваемых подклассов. На основании полученных результатов выбраны ПСП подкласса Касами, удовлетворяющие выбранным критериям. Составлено несколько ансамблей ПСП Касами разного объема, обеспечивающих наименьший уровень взаимных помех в системе.

Ключевые слова: МДКР, ПСП, корреляционные характеристики.

---

\* anna\_u\_s@mail.ru

## Введение

Концепция обеспечения помехозащищенной связи для одновременной передачи команд управления по нескольким каналам связи получила широкое применение при работе связанных систем на основе космических аппаратов «Радуга», «Радуга-1», «Молния-3» единой спутниковой системы связи. Для перспективных систем спутниковой связи требуется существенное повышение помехоустойчивости, например, за счет использования множественного доступа с кодовым разделением каналов (МДКР) и шумоподобными сигналами (ШПС) с прямым расширением спектра (ПРС) псевдослучайными последовательностями (ПСП).

Каждая ПСП периода  $N$  задается последовательностью элементов:  $y_i = \{a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,N}\}$ ;  $a_{i,n} = \{+1, -1\}$ ;  $i = 1, 2, \dots, L$ ;  $n = 1, \dots, N$ . Множество (ансамбль) ПСП объемом  $L$ , которые одновременно могут быть применены в системе с МДКР, обозначим  $Y$ , где  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_L\}$ .

Для систем с МДКР характерны взаимные помехи [6, 13, 19], которые возникают при поступлении  $j$ -го радиосигнала, модулированного «чужой»  $j$ -й ПСП  $y_j$ , на  $i$ -й приемник системы. Для обеспечения достоверного функционирования системы с МДКР необходимо так выбрать ансамбль модулирующих ПСП  $Y$ , чтобы взаимные помехи не ухудшали помехоустойчивость каждого канала приемника.

Мощность взаимных помех зависит от уровня взаимокорреляционных функций (ВКФ)  $R_{\text{ВКФ}}^{i,j}(\tau)$  всех пар ПСП ансамбля  $Y$  [11, 13]:

$$R_{\text{ВКФ}}^{i,j}(\tau) = \sum_{n=1}^N a_{i,n} a_{j,(n+\tau-1,N)+1},$$

где  $\tau$  — произвольное целое число, задающее смещение ПСП  $y_i$  и  $y_j$  на целое число элементов ПСП,  $i \neq j$ ,  $i, j \in [1, L]$ ,  $N$  — период ПСП.

Для систем с МДКР характерны собственные помехи [6, 12]. Эти помехи возникают при запаздывании  $i$ -го радиосигнала, модулированного  $i$ -й ПСП  $y_i$ , относительно его копии в приемнике. Мощность собственных помех зависит от уровней боковых лепестков автокорреляционных функций (АКФ)  $R_{\text{АКФ}}^i(\tau)$  при  $\tau \neq 0$ : ААКФ — аperiodической  $R_{\text{ААКФ}}^i(\tau)$  и ПАКФ — периодической  $R_{\text{ПАКФ}}^i(\tau)$  [1, 12, 13].

ААКФ ПСП  $y_i$  с периодом  $N$  рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{ААКФ}}^i(\tau) = \sum_{n=1}^{N-|\tau|} a_{i,n} a_{i,(n+|\tau|)},$$

где  $\tau$  — целое число ( $-(N-1) \leq \tau \leq (N-1)$ ),  $i \in [1, L]$ .

ПАКФ ПСП  $y_i$  рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{ПАКФ}}^i(\tau) = \sum_{n=1}^N a_{i,n} a_{i,(n+\tau-1,N)+1},$$

где  $\tau$  — произвольное целое число,  $i \in [1, L]$ .

Известны соотношения [7], определяющие нижние граничные значения  $(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}$  и  $(r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$  уровней ВКФ  $R_{\text{ВКФ}}^{i,j}(\tau)$  и боковых лепестков ПАКФ  $R_{\text{ПАКФ}}^i(\tau)$  для ПСП периода  $N$  полного набора объемом  $K$ . Значения  $(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}$  и  $(r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$  определены границами Велча для  $K \gg 1$  или Сидельникова для  $K \geq N/2$ :

$$\begin{aligned} (r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}^2 &= (r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}^2 = 1/N, \quad (K \gg 1); \\ (r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}^2 &= (r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}^2 = 2/N, \quad (K \geq N/2). \end{aligned} \quad (1)$$

Соотношения (1) позволяют оценить наименьшие уровни взаимных и собственных помех, определяемые значениями  $R_{\text{ВКФ}}^{i,j}(\tau)$  и  $R_{\text{ПАКФ}}^i(\tau)$ .

Для уменьшения мощности взаимных и собственных помех необходимо использовать ПСП, у которых наибольшие значения модуля ВКФ  $(R_{\text{ВКФ}}^{i,j})_{\text{max}}$  и боковых лепестков модуля ПАКФ  $(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}}$  близки к  $(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}$  и  $(r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$  (1).

В статье рассматриваются подклассы линейных ПСП: Касами, Лежандра, Холла. В соответствии со стандартом [15], определяющим характеристики систем МДКР, для разделения каналов связи широко используются  $M$ -последовательности ( $M$ -ПСП) и ПСП Голда. Характеристики  $M$ -ПСП и ПСП Голда используются для сравнения.

В современной радиотехнической литературе преобладают вопросы теории синтеза и формирования ПСП [1, 2, 9] и мало исследованы вопросы выбора ансамблей ПСП для ШПС ПРС в системах связи с МДКР.

Цель работы:

выявить конкретные ПСП подклассов Касами, Лежандра, Холла с периодом 1023, для которых значения  $(R_{\text{ВКФ}}^{i,j})_{\text{max}}$  и  $(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}}$  близки к  $(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}$  и  $(r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$ , рассчитанным по (1);

из этих ПСП составить один или несколько ансамблей  $Y$  объема  $L$ ,  $L \geq 3$ .

## Критерии выбора ПСП

Выбор ПСП для включения в ансамбль  $Y$  производится среди полного набора ПСП объемом  $K$  каждого из рассматриваемых подклассов в соответствии с критериями:

число  $L$  ПСП в ансамбле не меньше трех,  $L \geq 3$ :

$$\frac{\min}{y_i \Big|_{i=1}^K} \left[ (R_{\text{ВКФ}}^{i,j})_{\text{max}} - (r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}} \right]; \quad (2)$$

$$\frac{\min}{y_i \Big|_{i=1}^K} \left[ (R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}} - (r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}} \right]; \quad (3)$$

$$\frac{\min}{y_i \Big|_{i=1}^K} \left[ (R_{\text{ААКФ}}^i)_{\text{max}} - (r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}} \right], \quad (4)$$

где  $(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}$  и  $(r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$  заданы формулами (1).

При решении задачи выбран предпочтительный критерий (2). Тогда для включения ПСП  $y_i$ ,  $i \in [1, K]$  в ансамбль  $Y$  требуется, чтобы значения  $(R_{\text{ВКФ}}^{i,j})_{\text{max}}$  мо-

дуля ВКФ каждой пары ПСП были близки к  $(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}^i$ , а значения  $(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$  и  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\text{max}}$  каждой ПСП были близки к  $(r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$ .

В табл. 1 приведены рассчитанные по формуле (1) теоретические нижние граничные значения ВКФ  $(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}$  и ПАКФ  $(r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$  для рассматриваемых подклассов ПСП.

В статье приведены результаты выбора  $L$  ансамблей ПСП указанных подклассов ( $L \geq 3$ ), одновременно удовлетворяющие критериям (2) — (4). Алгоритмы формирования полных наборов  $K$  рассматриваемых подклассов ПСП подробно описаны в [16].

Для получения искомого ансамбля ПСП  $Y$  объемом  $L$  необходимо рассчитать наибольшие значения  $(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$ ,  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\text{max}}$  боковых лепестков модуля АКФ и наибольшие значения  $(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}$  модуля ВКФ для всех ПСП каждого подкласса.

### Показатели корреляционных функций АКФ и ВКФ

В литературе [3 — 5, 7 — 9, 11] приведены уровни корреляционных функций для ПСП рассматриваемых подклассов, все они перечислены ниже.

ПСП Голда порождаются М-ПСП [7, 16] с периодом  $N = 2^n - 1$ , где  $n$  — разрядность регистра сдвига. ВКФ ПСП Голда имеет три значения [8]:

$$R^{i,j}_{\text{ВКФ}}(\tau) = \begin{cases} \left\{ \pm 2^{\frac{n+1}{2}} - 1; -1 \right\} & \text{при } n - \text{нечетном;} \\ \left\{ \pm 2^{\frac{n+2}{2}} - 1; -1 \right\} & \text{при } n - \text{четном.} \end{cases} \quad (5)$$

Значения боковых лепестков ПАКФ ПСП Голда ограничены сверху [8]:

$$(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}} \leq 2^{\frac{n+2}{2}} + 1. \quad (6)$$

ПСП Касами порождаются М-ПСП [4, 7, 16] с периодом  $N = 2^n - 1$ , где  $n$  — четное. ВКФ ПСП Касами совпадает с (5) и имеет три значения [9]:

$$R^{i,j}_{\text{ВКФ}}(\tau) = \left\{ \pm 2^{n/2} - 1; -1 \right\} \quad (7)$$

Значения боковых лепестков ПАКФ ПСП Касами ограничены сверху [4]:

$$(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}} \leq 2^{n/2} + 1. \quad (8)$$

Значения ВКФ ПСП Лежандра, порождаемых простым числом  $p$  [3, 5, 8, 16], ограничены сверху [11]:

$$(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}} \leq \frac{2,6}{\sqrt{p}}. \quad (9)$$

Информация об ограничениях на значениях боковых лепестков ААКФ ПСП Голда, Касами, Лежандра, ПАКФ ПСП Лежандра, АКФ и граничных значениях ВКФ ПСП Холла в литературе отсутствует. Эти характеристики получены авторами.

Далее проанализированы АКФ и ВКФ для всех ПСП Голда ( $N = 1023$ ), Касами ( $N = 1023$ ), Лежандра ( $N = 1031$ ) и Холла ( $N = 1051$ ). Периоды ПСП Лежандра и Холла задаются выбором простого порождающего числа  $p$  [14], выбранного наиболее близким к  $N = 1023$ . Также рассмотрены характеристики ПСП Лежандра и Холла, усеченных до периода  $N = 1023 = 3 \cdot 11 \cdot 31$ , равного периоду остальных рассматриваемых ПСП.

В [16] показано, что для  $N = 1023$ ,  $n = 10$  объем полного набора ПСП Голда, полученных из каждой порождающей М-ПСП, составляет  $K = 1025$ . На рис. 1, 2 представлен типичный вид АКФ ПСП Голда на примере ПСП, сформированной из М-ПСП, заданной порождающим полиномом  $a(x) = x^9 + x^4 + 1$  [13].

Анализ показал, что уровни  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\text{max}}$  различаются для разных ПСП Голда общим числом  $K = 1025$  и имеют значения от  $-10$  до  $-11,6$  дБ.

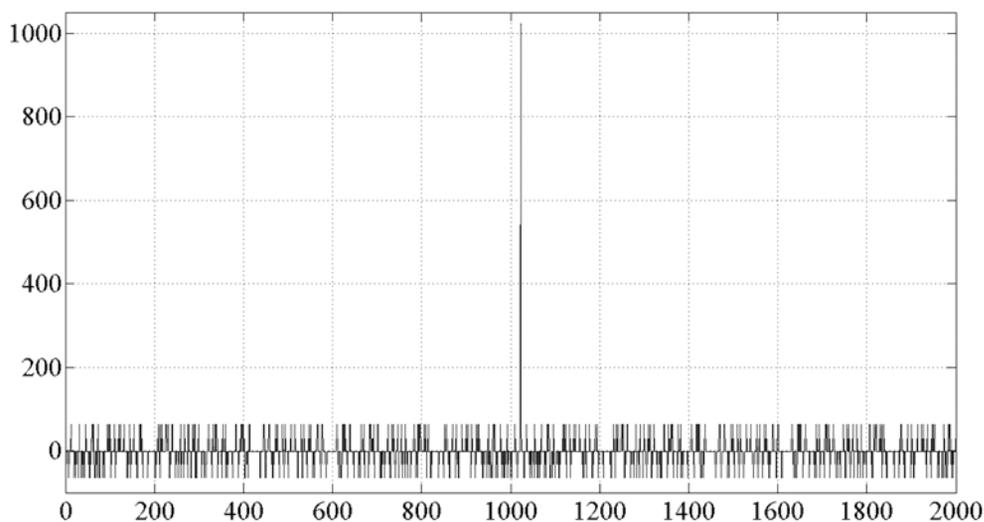
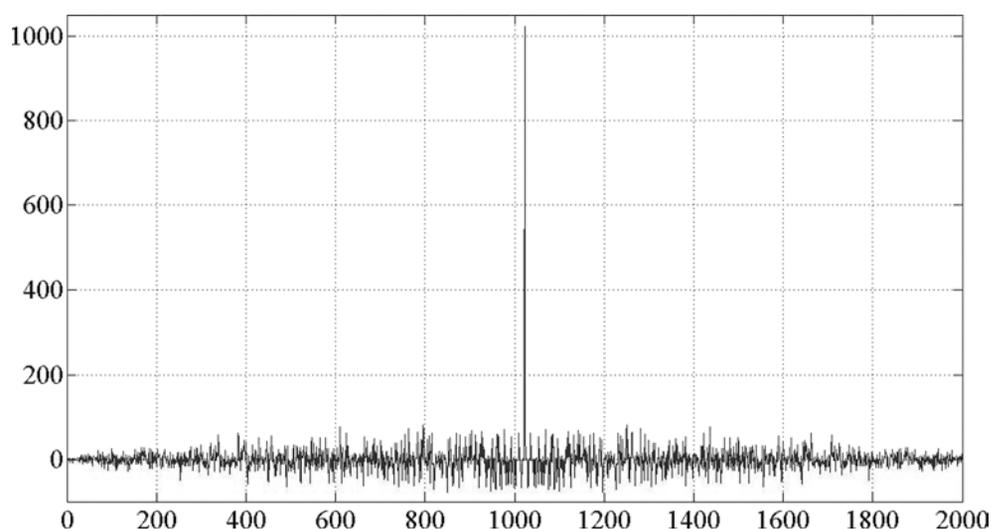
Известно, что ВКФ ПСП Голда трехуровневая, вид ВКФ можно найти в [13]. Наибольшее значение модуля ВКФ равно  $-12,1$  дБ (6).

В [16] показано, что для  $N = 1023$  объем полного набора ПСП Касами, полученных из каждой порождающей М-ПСП, составляет  $K = 32$ . Типичный вид АКФ ПСП Касами аналогичен графикам, представленным на рис. 1, 2. Для всех ПСП Касами этого периода уровни  $(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}$  одинаковы (12) и равны  $-14,9$  дБ. Анализ показал, что уровни  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\text{max}}$  различаются для разных ПСП Касами и имеют значения от  $-11,5$  до  $-12,7$  дБ. ВКФ ПСП Касами трехуровневые (8). Модуль наибольшего значения ВКФ равен  $-14,9$  дБ.

Таблица 1

### Теоретические граничные значения ВКФ и ПАКФ

Тип ПСП	Период ПСП $N$	Число ПСП $K$	$(r_{\text{ВКФ}})_{\text{max}}, (r_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}}, \text{дБ}$
М-ПСП; Касами	1023	$\gg 1$	$-15$
Голда	1023	$\geq N/2$	$-13,5$
Лежандра	1031	$\geq N/2$	$-13,6$
Холла	1051	$\geq N/2$	$-13,6$

Рис. 1 Пример ПАКФ ПСП Голда,  $(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}} = 65$ Рис. 2. Пример ААКФ ПСП Голда,  $(R_{\text{ААКФ}}^i)_{\text{max}} = 81$ 

В [16] показано, что объем полного набора ПСП Лежандра с периодом  $N = 1031$ , полученных из порождающего числа  $p = 1031$ , равен  $K = 1031$ ; объем полного набора ПСП Холла с периодом  $N = 1051$ , полученных из порождающего числа  $p = 1051$ , равен  $K = 1051$ .

На рис. 3 — 5 представлен типичный вид АКФ и ВКФ ПСП Лежандра.

Для ПСП Лежандра с периодом  $N = 1031$  уровни  $(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}}$  и  $(R_{\text{ААКФ}}^i)_{\text{max}}$  различаются и имеют значения от  $-12$  до  $-30$  дБ для ПАКФ и от  $-10$  до  $-13$  дБ — для ААКФ. Следует отметить, что значение  $(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}} = -30$  дБ имеет лишь одна ПСП Лежандра. Наибольшее значение модуля ВКФ ПСП Лежандра равно  $-12$  дБ (формула (10)).

Типичный вид АКФ и ВКФ ПСП Холла аналогичен графикам, представленным на рис. 3 — 5 и отдельно не приводится.

Для всех ПСП Холла с периодом  $N = 1051$  уровни  $(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}}$  имеют значения от  $-12$  до  $-30$  дБ для разных

ПСП;  $(R_{\text{ААКФ}}^i)_{\text{max}}$  от  $-10$  до  $-12,7$  дБ. Наибольшее значение модуля ВКФ ПСП Холла равно  $-11,8$  дБ.

Рассчитанные значения  $(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\text{max}}$ ,  $(R_{\text{ААКФ}}^i)_{\text{max}}$ ,  $(R_{\text{ВКФ}}^j)_{\text{max}}$  приведены в табл. 2, где указаны только те значения, которые имеют не менее 3 ПСП подкласса. Характеристики М-ПСП и ПСП Голда приведены для сравнения.

Также проведен расчет корреляционных характеристик для укороченных ПСП Лежандра и Холла с периодом, равным периоду ПСП Голда и Касами  $N = 1023$ . Оказалось, что ВКФ этих ПСП имеют высокий уровень (до 0 дБ), поэтому укороченные ПСП Лежандра и Холла ниже не рассматриваются.

По результатам анализа всех АКФ и ВКФ полных наборов ПСП рассматриваемых подклассов авторами дополнены характеристики (5) — (9) и получены отсутствующие в литературе граничные значения боковых лепестков ААКФ ПСП подклассов Голда (10),

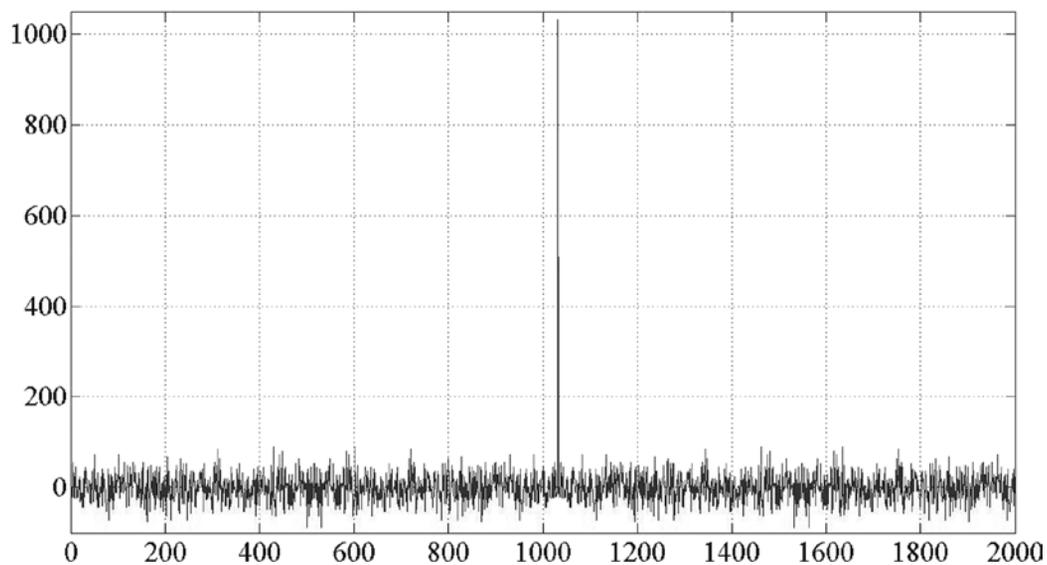


Рис. 3. Пример ПАКФ ПСП Лежандра,  $(R_{\text{ПАКФ}})_{\text{max}} = 64,4$

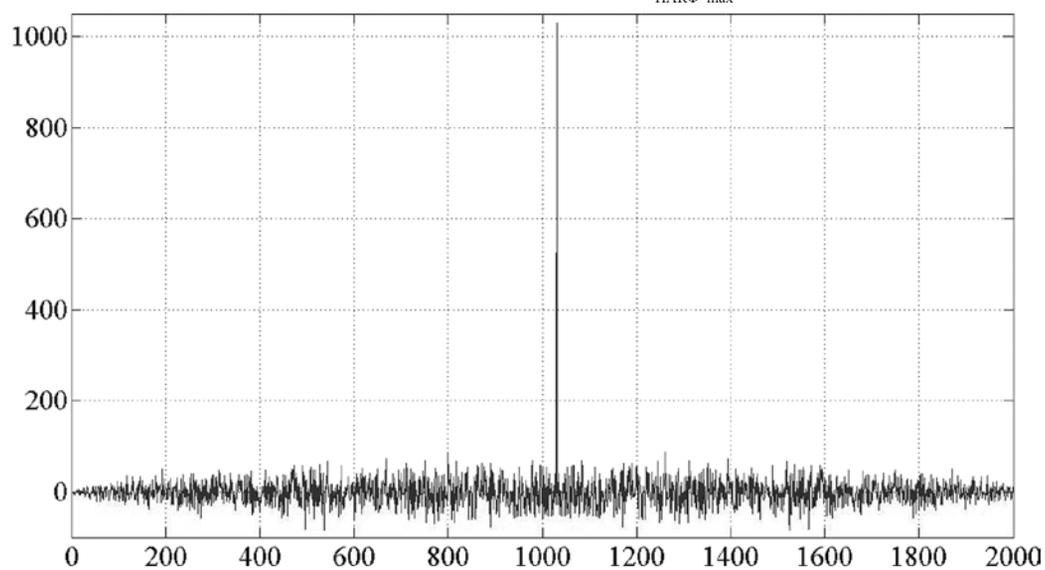


Рис. 4. Пример ААКФ ПСП Лежандра,  $(R_{\text{ААКФ}})_{\text{max}} = 87$

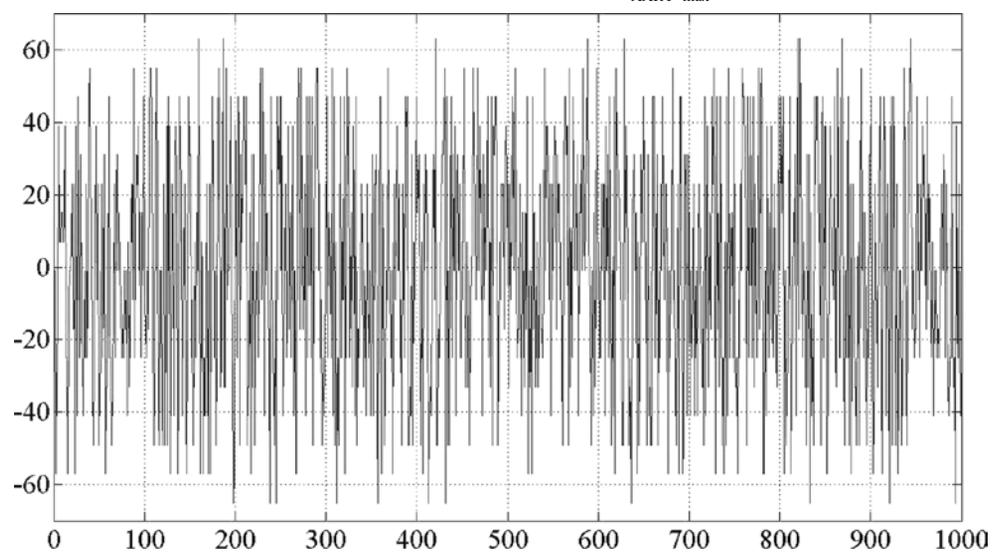


Рис. 5. Пример ВКФ ПСП Лежандра,  $(R_{\text{ВКФ}})_{\text{max}} = 63$

Касами (11), ПАКФ ПСП Лежандра (12), граничные значения ВКФ ПСП Холла (13):

ААКФ ПСП Голда:

$$(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max} \leq \frac{n^2}{N}; \quad (13)$$

ААКФ ПСП Касами:

$$(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max} \leq \frac{2^{n-4} + n - 1}{N}; \quad (14)$$

ПАКФ ПСП Лежандра:

$$(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\max} \leq 2\sqrt{p} + 1; \quad (15)$$

ВКФ ПСП Холла:

$$(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\max} \leq 2\sqrt{p}. \quad (16)$$

### Ансамбли ПСП с требуемыми характеристиками

Из табл. 2 видно, что для рассматриваемых подклассов ПСП все ПСП подкласса Касами достигают границ, заданных (1). Для остальных подклассов ПСП значения ВКФ выше границы (1) на 3 дБ и более.

Учитывая, что предпочтительным выбран критерий (3), вначале рассмотрены значения  $(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\max}$  модуля ВКФ ПСП каждого подкласса. Из табл. 2 следует, что наименьшее значение  $(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\max}$  достигается только для ВКФ ПСП подкласса Касами. Поэтому для формирования искомого ансамбля  $Y$  использованы ПСП Касами.

Далее проанализированы свойства ПСП Касами по критериям (4) и (5).

Из табл. 2 очевидно, что по критерию (4) значения  $(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\max}$  для ПСП Касами выше значений  $(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\max}$  для М-ПСП на 15 дБ. По критерию (5) значения  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$  для ПСП Касами на 1 — 2 дБ больше значений  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$  для М-ПСП. Наименьшее значение  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$ , позволяющее сформировать ансамбль из четырех М-ПСП, составляет  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max} = -15$  дБ. Однако уровни  $(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\max}$  для этих четырех М-ПСП достаточно большие (от  $-12$  до  $-4,3$  дБ).

Значения  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$  для ПСП подклассов Касами, Голда, Лежандра и Холла отличаются между собой не более, чем на 1,5 дБ.

Искомый ансамбль  $Y$  составлен из ПСП Касами с  $(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\max} = -14,9$  дБ и наименьшими значениями  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$ .

В табл. 3 приведены номера ПСП Касами, которые образуют 4 ансамбля разного объема  $L$ . Ограничивая  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$  значениями от  $-12,5$  до  $-12,2$  дБ, можно получить ансамбли ПСП объема  $L = 3, 6, 9$  и  $16$ . Показано, что при ослаблении на 0,3 дБ требований к  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$  объем ансамбля можно увеличить более чем в 5 раз.

Номер  $i$  (см. столбец 3, табл. 3) определяет ПСП Касами  $u_i$ ; децимированная М-ПСП задерживается на  $i$  символов относительно исходной и поэлементно суммируется с ней [16]. Все ПСП Касами сформированы из М-ПСП с порождающим полиномом  $a(x) = x^9 + x^4 + 1$  [13].

На основании полученных результатов для использования в системах связи с МДКР рекомендуется использовать ансамбли ПСП Касами, перечисленные в табл. 3.

Таблица 2

Значения  $(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\max}$ ,  $(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$ ,  $(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\max}$

Подкласс	М-ПСП	Голда	Касами	Лежандра	Холла
Объем $K$	60	1025	32	1031	1051
Период $N$	1023	1023	1023	1031	1051
$(R^i_{\text{ПАКФ}})_{\max}$ , дБ	-30	-12	-14,9	[-12]	[-12]
$(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$ , дБ	[-15; -13,7]	[-11,6; -10]	[-12,7; -11,5]	[-13; -10]	[-12,7; -10]
$(R^{i,j}_{\text{ВКФ}})_{\max}$ , дБ	[-12,1; -4,3]	-12,1	-14,9	-12	-11,8

Таблица 3

Ансамбли ПСП Касами

$(R^i_{\text{ААКФ}})_{\max}$	Объем $L$ ансамбля $Y$	Номера $i$ последовательностей, входящих в полученный ансамбль
1	2	3
-12,2	16	4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 17, 19, 21, 24, 25, 26, 28, 30
-12,3	9	4, 8, 9, 19, 21, 25, 26, 28, 30
-12,4	6	4, 25, 26, 28, 30, 11
-12,5	3	4, 28, 30

## Выводы

В статье рассмотрены АКФ и ВКФ ПСП подклассов Голда, Касами, Лежандра, Холла. Уточнены верхние граничные значения для ВКФ и боковых лепестков АКФ ПСП. Сформированы критерии выбора ансамблей ПСП, используемых для ШПС ПРС в системах связи с МДКР. На основании полученных результатов проведен выбор ансамблей ПСП Касами, обеспечивающих наименьший уровень взаимных помех в системе.

## Литература

1. **Гайворонский Д.В.** Разработка предложений по модернизации пользовательского радиointерфейса спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС // Дисс. ... канд. техн. наук. М.: Московский технический университет связи и информатики, 2010.
2. **Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В.** Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка. СПб.: Наука и Техника, 2005.
3. **Варакин Л.Е.** Теория сложных сигналов. М.: Советское радио, 1970.
4. **Ипатов В.П.** Периодические дискретные сигналы с оптимальными корреляционными свойствами. М.: Радио и связь, 1992.
5. **Свердлик М.Б.** Оптимальные дискретные сигналы. М.: Советское радио, 1975.
6. **Диксон Р.К.** Широкополосные системы. М.: Связь, 1979.
7. **Ипатов В.П.** Широкополосные сигналы. Wiley, 2004.
8. **Gold R.** Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing // IEEE Trans. Inform. Theory. 1967. V. 13. P. 619 — 621.
9. **Xiang Q.** On balanced binary sequences with two-level autocorrelation functions. // IEEE Trans. Inform. Theory. 1998. V. 44. N 7. P. 975 — 986.
10. **Едемский В.А., Антонова О.В.** Линейная сложность обобщенных циклотометрических последовательностей с периодом  $2^m p^n$  // Прикладная дискретная математика. Теоретические основы прикладной дискретной математики. 2012. № 3 (17). С. 5 — 12.
11. **Калмыков В.В., Юдачев С.С.** Ансамбли составных кодовых последовательностей. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 1994. № 4. С. 101 — 106.
12. **Пестряков В.В.** Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. М.: Советское радио, 1973.
13. **Варакин Л.Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Советское радио, 1985.
14. **Hall M.** A survey of Difference Sets // Proc. Am. Math. Soc. 1956. V. 7. P. 975 — 986.
15. **Cdma 2000  $m2m$  numbering recommendations system requirements document.** Current. Telecommunications Industry Association (TIA), 2012.
16. **Сизякова А.Ю., Семина Ю.В.** Алгоритмы формирования ПСП для МДКР // Наука и образование. 2015. № 6 (13). С. 18 — 20.

*Статья поступила в редакцию 14.01.2016*