

УДК 621.396

## ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

А. С. Грибанов<sup>1,2</sup>, Ю. В. Невзоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Московский научно-исследовательский радиотехнический институт»  
<sup>2</sup> РАДИОВТУЗ Московского авиационного института

Получена 7 декабря 2012 г., после доработки – 28 февраля 2013 г.

**Аннотация.** Рассмотрена структура сигнала подавляемых линий связи, где все абоненты работают в одной и той же полосе частот: информационный сигнал преобразуется последовательностью Уолша, используемой для разделения каналов, и псевдослучайной последовательностью, превращающей информационный сигнал в шумоподобный.

Показана структура системы для эффективного подавления передаваемой информации: частоты канала связи и конкретной кодовой комбинации (код Уолша) в прямом канале передачи информации. Разработана структура устройства синхронизации подавляемого сигнала и помехи.

**Ключевые слова:** помехозащищенность, системы спутниковой связи, кодовое разделение каналов, шумоподобный сигнал, сигнал с распределенным спектром, многостанционный доступ, псевдослучайная последовательность.

**Abstract:** The structure of the signal suppressed communication lines, where all parties are one and the same frequency band: the information signal is converted sequence Walsh, of a kind used for the separation of channels, and pseudo-casual sequence, which transforms an information signal in noise. Shows the structure of the system for effective suppression of the transmitted information: frequency of the communication channel and a specific code combination (code Walsh) in the direct channel of communication of information. Developed structure of the device synchronization suppressed signal interference.

**Key words:** noise immunity, satellite communication systems, encoded channel separation, noise-like signal, a signal with distributed spectrum, multi-access, pseudo-random sequence.

Системы спутниковой связи совершенствуются в направлении не только повышения пропускной способности, но и повышения помехозащищенности каналов связи. Связные системы с кодовым разделением каналов (CDMA) в наибольшей степени удовлетворяют критерию помехозащищенности. Технология CDMA обеспечивает высокое качество передачи информации при одновременном снижении излучаемой мощности. Использование шумоподобного сигнала в качестве переносчика информации в линии связи позволяет получать высокую энергетическую скрытность передаваемой информации и, как следствие, высокую конфиденциальность передаваемых данных. И в перспективных системах спутниковой связи (система узкополосной связи для мобильных пользователей MUOS) предполагается использование сигналов с распределенным спектром. Эти сигналы многостанционного доступа с кодовым разделением (WCDMA) обладают низкой вероятностью обнаружения и перехвата средствами радиоразведки противника.

Таким образом, исследование возможности противодействия системам спутниковой связи с кодовым разделением каналов актуально.

Принципиальное отличие CDMA-сети от сетей с частотным и временным разделением каналов заключается в том, что в её состав обязательно входят устройства оценки качества сигнала, поэтому структура помехи должна совпадать со структурой сигнала.

Цель работы – исследование принципов создания помех каналу передачи информации от базовой станции к абоненту в системе спутниковой связи с CDMA.

Для реализации цели решаются следующие задачи.

1. Разведка сигналов ретранслятора в S-диапазоне.
2. Формирование помехи с параметрами подавляемого сигнала.
3. Совмещение по времени сигнала и помехи на выходе ретранслятора.
4. Снижение вероятности правильной передачи информации подавляемым сигналом.

На прямой пользовательской стороне (от ретранслятора к пользователю), в ретрансляторе происходит демультиплексирование принимаемых от базовой станции поляризованных сигналов с получением пространственно-разделенной совокупности лучей. Диапазон частот  $S$  используется всеми 16 пространственно-разнесенными лучами с полосой 16.5 МГц. Каждый луч далее разделяется на подлучи (до 13 подлучей) с несущими колебаниями полосой 1.23 МГц.

Центральные частоты определяются по следующей формуле:

$$f_c = f_0 + 0.123 * (N-1), \quad 1 \leq N \leq 124$$

где  $f_c$  - центральная частота,

$f_0$  - начальная частота пространственного луча,

$N$  - номер канала CDMA.

Каждой станции сопряжения для использования в качестве несущих частот предписано определенное число номеров каналов CDMA .

Станция разведки, принимая сигнал по прямой линии выделяет данные канала для подавления по идентификационному номеру (например, IMSI). Зона обслуживания С-диапазона всех лучей S- диапазона взаимосовместимы [1].

Для создания помехи необходимо получить информацию о частоте канала связи и конкретной кодовой комбинации (код Уолша) в прямом канале. Кроме того, при создании адресной помехи значение период длинного кода помехи должен совпадать с периодом длинного кода подавляемого сигнала.

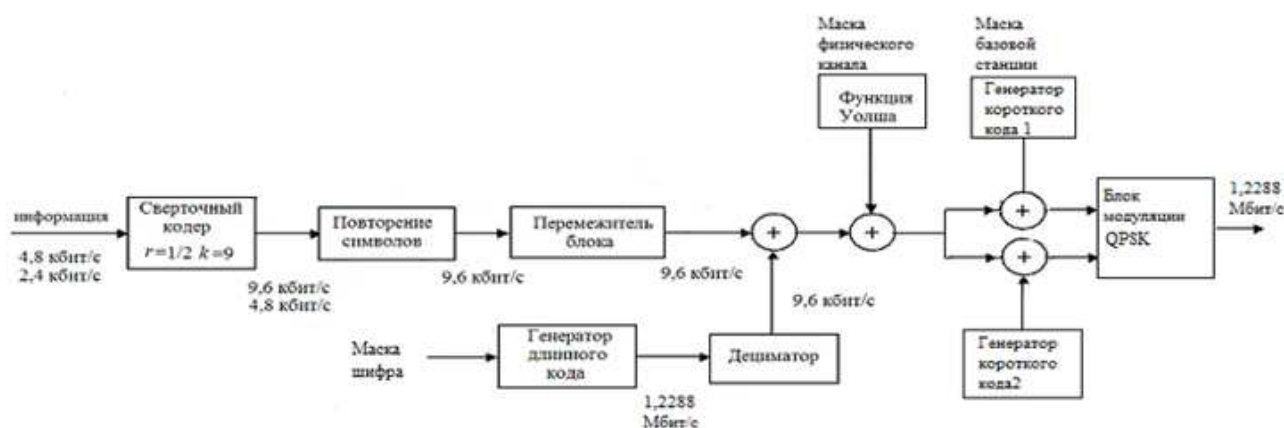


Рис.1. Схема формирования сигнала принимаемого абонентом

На рис.1 показана схема формирования сигнала прямого канала.

Высокая степень конфиденциальности передаваемых сообщений достигается использованием секретной маски в виде длинного кода (ПСП – псевдослучайной последовательности).

Информация вводится наложением на широкополосную модулирующую кодовую последовательность перед модуляцией несущей для получения широкополосного шумоподобного сигнала ШПС. Узкополосный сигнал умножается на псевдослучайную последовательность (ПСП) с периодом  $T$ , состоящую из  $N$  бит длительностью  $\tau_0$  каждый. В этом случае база ШПС численно равна количеству элементов ПСП.

На приемной стороне производится перемножение принятого сигнала и сигнала такого же источника псевдослучайного шума (ПСП), который использовался в передатчике. Эта процедура сжимает спектр полезного сигнала в приемнике и одновременно расширяет спектр фонового шума и других источников интерференционных помех. Результирующий выигрыш в отношении сигнал/шум на выходе приемника определяется функцией отношения ширины полос широкополосного и базового сигналов. Во временной области — это функция отношения скорости передачи цифрового потока в радиоканале к скорости передачи базового информационного сигнала. В исследуемом случае отношение составляет 128 раз, или 21 дБ.

Система CDMA требует значительно более точной синхронизации между Базовыми Станциями (BTS), чем в аналоговых системах сотовой связи. Высокоточная синхронизация обеспечивает привязку по времени для сигналов сети, критичных к временным сдвигам (пилот-сигналы, функции Уолша, информационные кадры), а также синхронизацию по частоте.

Расчеты показывают, что возможное несовпадение по времени прихода сигналов помехи и подавляемого абонента может составлять несколько миллисекунд. Для совмещения по времени сигнала и помехи необходимо совместить длинные ПСП как сигнала, так и помехи. Схема совмещения показана на рис.2.

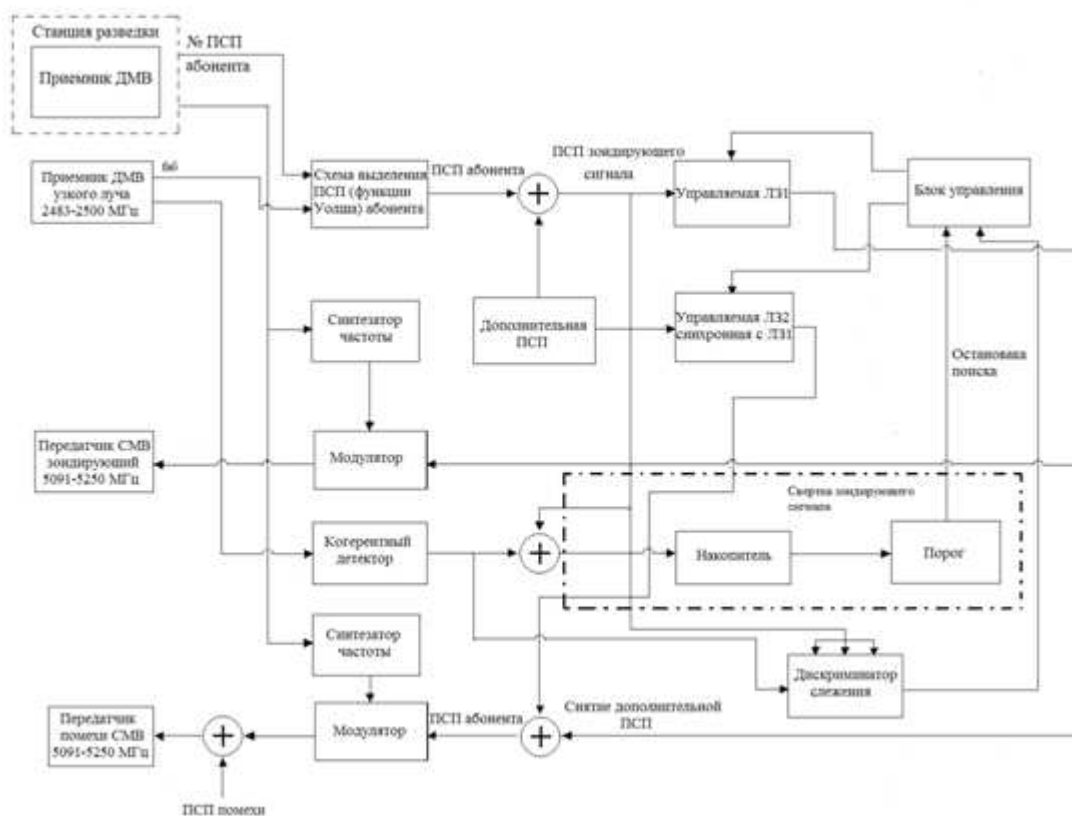


Рис.2. Функциональная схема совмещения по времени сигнала и помехи в прямом канале

В системах связи с кодовым разделением каналов идентификация абонента базовой станцией осуществляется по длинной ПСП, информацию о которой базовая станция передает абоненту в S-частотном диапазоне. Для перехвата этой информации на частотах S-диапазона в схему подавления входит «Приемник ДВМ», далее принятый сигнал поступает в «Схему выделения ПСП абонента», где выделяется длинная ПСП и несущая частота излучения подавляемого абонента.

Непосредственно для постановки помехи в цепь передачи информации от базовой станции к ретранслятору введен «Передатчик помехи СМВ» с устройствами формирования модулирующей длинной ПСП по данным разведки.

Для эффективного воздействия помехи текущие значения длинной ПСП сигнала и помехи должны быть совмещены на входе ретранслятора.

В силу того, что базовая станция и станция помех могут находиться в разных точках пространства, разность времен прихода сигнала абонента и помехи на ретранслятор может составлять от 0 до 13мс.

Для определения этой задержки формируется зондирующий сигнал с переменной задержкой. Устройство формирования зондирующего сигнала состоит из генератора «Дополнительная ПСП», «Синтезатора частоты» зондирующего сигнала и «Передатчика СВВ зондирующий».

Оба сигнала поступают на «Приемник ДМВ», переносятся на одну частоту. Далее измеряется задержка между сигналами и на время этой задержки смещается длинная ПСП Формирователя помех.

Таким образом, сигнал помехи как по структуре так и по времени прихода на ретранслятор соответствует сигналу базовой станции.

В системах связи для передачи информации применяются ФМ сигналы, а в CDMA кодовые последовательности ФМ сигналов.

Процедура создания помехи рассмотрена в [2]. Процесс создания помехи предполагает следующую последовательность действий.

1. Прием ШПС сигналов активных лучей работающих спутников для всех используемых станций сопряжения.

2. Получение системных сообщений из канала пейджинга о назначении каналов пользователя, для которого необходимо обеспечить невозможность установления соединения, конкретного обратного канала.

3. Установка на частоте прямого канала структурно-подобной или шумовой помехи.

4. Контроль прямого канала трафика абонента для отслеживания команд на освобождение канала, либо его фактическое отключение, возникающее из-за невозможности станцией сопряжения принять обратный канал абонента.

Оценка достоверности приема дискретных сигналов в условиях преднамеренных помех заключается в усреднении вероятности искажения  $n$ -значной кодовой комбинации  $P_n(h)$  по всем возможным значениям отношения сигнал/помеха  $h$  [3] (Рис.3).

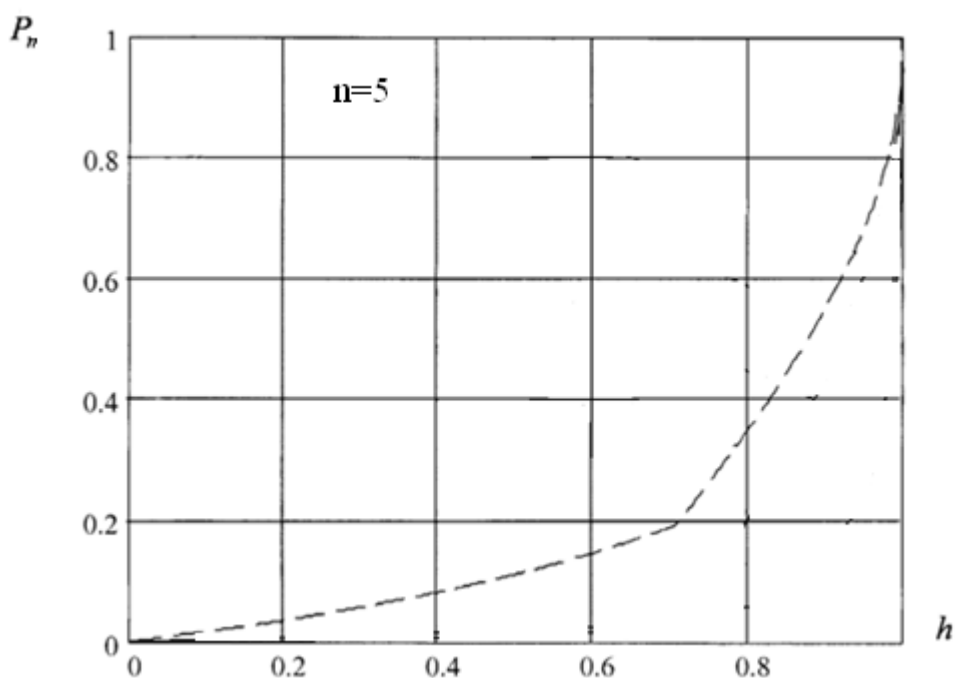


Рис. 3

Вероятность искажения элементов кодовых комбинаций, входящая в выражение вероятности  $P_n(h)$ , определяется путем нахождения неравенств, описывающих правила принятия ошибочных (неправильных) решений об этих элементах, и последующего вычисления вероятностей выполнения указанных неравенств [4].

Однако алгоритмы нахождения вероятностей искажения кодовых комбинаций оказываются неприемлемыми, если кодовая комбинация определяет значение информационного символа, так как в линиях связи с CDMA через приемное устройство проходят только неискаженные кодовые последовательности. Это предполагает применение существенно другого алгоритма подавления систем связи с CDMA.

В первом случае задача подавления сводится к увеличению неопределенности фазовых изменений принятых сигналов за счет помехи. Одним из вариантов такой помехи может быть гармоническое колебание на несущей частоте (вероятность искажения 5-значной информационной последовательности показана на рис.3).

Во втором случае задача подавления решается по-другому – фазовые изменения кодовой последовательности на интервале информационного

символа должны быть сохранены. Помеха по аналогии с первым случаем представляется повторяющейся комбинацией информационных символов, промодулированных не меняющейся кодовой комбинацией.

После процедуры совмещения начала кодовой последовательности помехи на входе подавляемого приемника по времени с началом кодовой последовательности сигнала получаем структурно подобную последовательность импульсов. Помеха представляет собой неискаженную кодовую комбинацию, только инвертированную по отношению к истинной кодовой комбинации. Помеха будет эффективной, при определенном превышении мощности инвертированной кодовой комбинации (помеха) к мощности истинной кодовой комбинации (сигнал).

Совокупность кодовых комбинаций представляет собой сообщение, и эффективность помехи будет определяться числом инвертированных кодовых комбинаций, принятых как истинные.

На рис.4 показаны зависимости вероятности подавления от соотношения сигнал/помеха  $h$ :

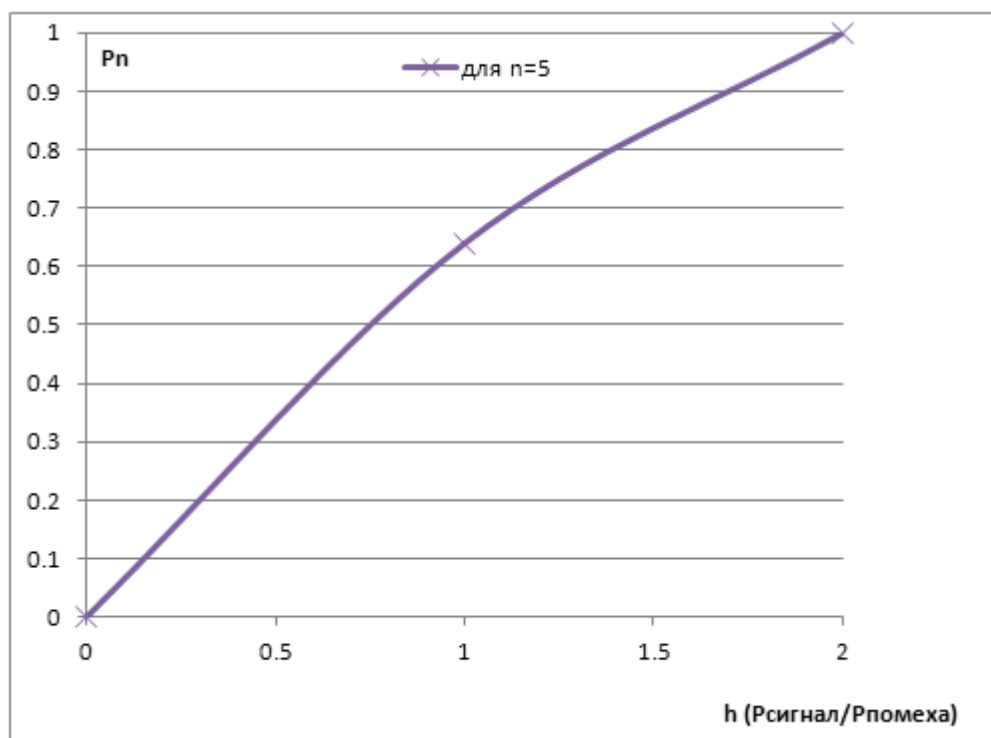


Рис.4



При сравнении зависимостей на рис. 3 и 4 можно сделать вывод, что искажение фронта информационного импульса приводит к потере передаваемой информации при соотношении сигнал/помеха, близком к единице, однако в системах связи с CDMA предусмотрено устройство оценки качества сигнала и выбора кадра, неискаженного помехой. Применение помехи, совпадающей со структурой сигнала энергетически менее выгодно, но факт подавления линии связи не фиксируется, поэтому возможность применения структурно-подобных помех будет стимулом для дальнейшего совершенствования линий связи.

### **Выводы**

Рассмотрена структура сигнала подавляемых линий связи, где все абоненты работают в одной и той же полосе частот: информационный сигнал преобразуется последовательностью Уолша, используемой для разделения каналов, и псевдослучайной последовательностью, превращающей информационный сигнал в шумоподобный.

Показана структура системы для эффективного подавления передаваемой информации: частоты канала связи и конкретной кодовой комбинации (код Уолша) в прямом канале.

Показана структура устройства синхронизации сигналов: при создании адресной помехи значение периода длинного кода помехи должен совпадать с периодом длинного кода подавляемого сигнала.

Показано, что для подавления информации в линиях связи с кодовым разделением каналов необходимо воспроизводить кодовую комбинацию каждого информационного импульса.

Приведена зависимость вероятности подавления канала от соотношения сигнал/помеха на входе подавляемого приемника.

В разработке схемы совмещения по времени сигнала и помехи принимал участие И.М.Тепляков.

## Литература

1. Анненкова И.Ю., Грибанов А.С. Защита от помех систем спутниковой связи. Технологии ЭМС, №2(41), 2012, с.48-54.

2. Грибанов А.С., Кондрашкин Е.А. Особенности создание преднамеренных помех при передаче информации в каналах связи CDMA. Системы и средства связи, телевидения и радиовещания, 2010, вып.1,2, с.161-164.

3. Ложкин К.Ю., Поддубный В.Н. Синтез и оценка эффективности помех приемникам двукратных фазоманипулированных сигналов //Радиотехника, 1997, №3, с.69-73.

4. Овчаренко Л.А., Поддубный В.Н. Помехоустойчивость приема частотно-манипулированных сигналов на фоне стационарных помех //Радиотехника, 1989, №4, с.10-12.