

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.391.827

Савельев  
Максим Геннадьевич

Исследование широкополосной системы посимвольной передачи цифровой информации в каналах с негауссовской помехой

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 80 02 Радиотехника, в том числе систем и устройств радионавигации, радиолокации и телевидения

---

Научный руководитель  
Карпушкин Эдуард Михайлович  
к.т.н., доцент

---

Минск 2016

## ВВЕДЕНИЕ

В большинстве современных систем связи прием сигналов приходится осуществлять в условиях действия помех всех видов – флуктуационных, сосредоточенных и импульсных. Однако, из перечисленных трех видов помех лишь первые, обусловленные внутренними тепловыми шумами элементов аппаратуры, можно с достаточным основанием описывать гауссовскими моделями. Все остальные виды помех, как правило, имеют негауссовскую статистику. Кроме того, некоторые реальные помехи вообще не могут быть отнесены строго к одному из перечисленных видов, а занимают промежуточное положение между ними.

Поэтому большое внимание в последние десятилетия уделяется вопросам разработки методов приема сигналов и реализующих их приемных устройств для каналов со сложными негауссовскими помехами.

Аппарат теории диффузионных марковских процессов и стохастических дифференциальных уравнений, безусловно, является мощным инструментом решения широкого круга задач оптимальной обработки сигналов не только в связи, но и во многих других областях – в технике локации, навигации, управления, измерений. Однако в задачах техники связи прямое использование таких общих моделей, как правило, ведет к получению сложных алгоритмов обработки, реализация которых сопряжена с многочисленными приближениями, при которых неизбежны существенные потери в показателях качества приема.

Поэтому широкое практическое применение получили такие методы обработки сигналов, в основе которых лежат те или иные модификации указанных общих методов с учетом специфики разных видов помех и принципы адаптации алгоритмов приема к реальным изменениям параметров канала и помеховой обстановки.

Общим недостатком перечисленных методов является их сравнительная низкая эффективность в условиях действия импульсных помех, соизмеримых по длительности и амплитуде с сигналом, в особенности при наличии помех других видов. Борьба с такими сложными видами помех встречает наибольшие трудности. Задача разработки более эффективных методов защиты от этих видов негауссовских помех является ныне весьма актуальной, а коренные изменения последних лет в области элементной базы и техники обработки сигналов создают необходимые предпосылки для ее практического решения.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В настоящее время всё большее применение находят методы передачи и приёма информации с использованием широкополосных сигналов. Применение таких сигналов позволяет эффективно бороться с внутриканальными и межканальными помехами, эффектом Доплера и максимально использовать выделенный диапазон частот для передачи информации между пользователями. В большинстве случаев при исследовании широкополосных сигналов указывается, что фаза сигнала от символа к символу претерпевает разрыв. В большей степени это связано со сложностью формирования широкополосных сигналов без разрыва фазы при высокоскоростной передаче информации и трудностью теоретического анализа таких сигналов. Актуальность исследования определяется тем, что она направлена на решение проблемы повышения энергетической эффективности систем передачи цифровой информации по широкополосным каналам со сложной помеховой обстановкой в условиях действия преднамеренных и непреднамеренных помех с неизвестными параметрами.

В первой главе описываются негауссовские помехи в каналах связи. Постановка задачи их обнаружения, а так же описываются различные оценки точности фильтрации при действии негауссовского шума.

Вторая глава описывает широкополосную систему посимвольной передачи цифровой информации, на основе которой был построен лабораторный макет. Приведено описание радиомодема ШМР-16, структурные схемы приёмника и передатчика, а так же схема лабораторного макета представленная на рисунке 1.

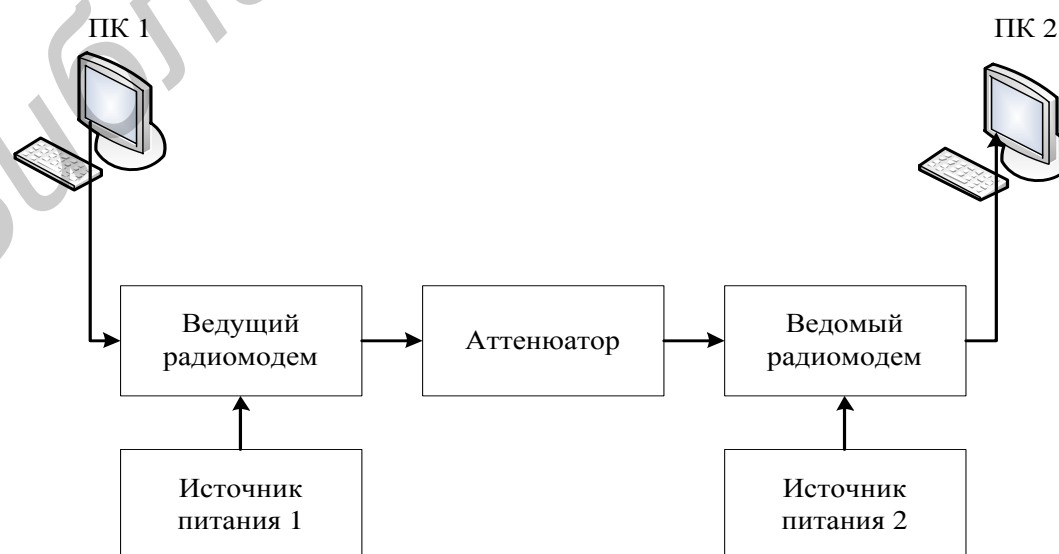


Рисунок 1 – Схема лабораторного макета

В третьей главе произведено исследование возможностей широкополосной системы посимвольной передачи цифровой информации в каналах с аддитивной гауссовской и импульсной (негауссовской помехой). Произвели расчёт вероятности возникновения помехи, сравнили полученный результат с тем, который был получен в результате исследования широкополосной системы посимвольной передачи цифровой информации в каналах с аддитивной гауссовской помехой, расчётный график показал линейное изменение зависимости, а исследованный – пороговый эффект, после определенного значения отношения сигнал/шум. Далее произвели исследование широкополосной системы посимвольной передачи цифровой информации в каналах с негауссовской помехой и построили зависимость вероятности возникновения помехи от отношения сигнал/шум. Сравнили полученную зависимость с той, которая была получена при внесении аддитивной гауссовской помехи. Вид зависимостей оказался одинаковым, но пороговый эффект в каналах с негауссовской помехой проявляется раньше на  $1dB$ . Появление порогового эффекта связано с использованием в схеме исследуемой системы нелинейных элементов. На основании полученных результатов, был сделан вывод, что система одинаково хорошо может выделять принимаемую информацию как из каналов с аддитивной гауссовской помехой, так и с негауссовскими помехами.

Четвертая глава посвящена разработке методики выполнения лабораторной работы на исследованном макете. Приведено подробное описание выполнения работы, подкрепленное графическим материалом, для более простого понимания работы программного обеспечения радиомодемов.

В заключении подводятся итоги по результатам проведенного исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования широкополосной системы передачи цифровой информации, можно сделать следующие выводы:

Зависимости полученные в результате исследования, а также в результате расчётов внешне схожи, но расчётная зависимость вероятности возникновения ошибки ведет себя линейно, а исследуемая широкополосная система передачи цифровой информации построена таким образом, что ошибка увеличивается не постепенно, а только с определенного значения отношения сигнал/шум (пороговый эффект). Величина порога для аддитивной гауссовской помехи и импульсной (негауссовской) помехи, оказалось различной всего в  $1dB$ . До достижения этого значения, наблюдается полный приём передаваемых бит, а, следовательно, нулевая вероятность возникновения ошибки, а после достижения порогового значения отношения сигнал/шум, вероятность возникновения помехи резко увеличивается, стремясь к единице. Это обусловлено надежностью канала связи посредством использования псевдослучайных сигналов, а цифровые алгоритмы оптимальной обработки сигналов позволяют получить повышенную помехозащищенность и скрытность передачи. Так же на обеспечение энергетической скрытности оказывает влияние расширение спектра сигнала, за счёт этого улучшается отношение сигнал/шум в базу раз, что в свою очередь увеличивает помехозащищенность. Схемы исследуемых радиомодемов разработаны с использованием нелинейных элементов, что отражается на вероятности возникновения ошибки, появлением порогового эффекта. Воздействие всех этих факторов и повлияло на то, что ошибка при исследовании появлялась гораздо позже, чем это должно было произойти, если основываться на расчётах.

Разработана методика выполнения лабораторной работы на исследованном макете.

Для увеличения возможностей исследованной широкополосной системы передачи цифровой информации можно переработать её схему с использованием асимптотического оптимального обнаружителя в схеме приёмника, где отношение сигнал/шум после обработки определяется отношением:

$$q = \mu q_{\Gamma},$$

где  $q_{\Gamma}$  – отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра, когда на входе действует смесь с белым гауссовским шумом;  $\mu$  – коэффициент повышения отношения сигнал/шум в схеме нелинейный элемент – согласованный фильтр (НЭ – СФ) по сравнению с величиной  $q_{\Gamma}$ , когда помеха на входе нелинейного элемента негауссовская.

Использование защитных устройств с регулируемыми параметрами, которые обеспечивают максимальное отношение сигнал/шум, при этом согласование нелинейного элемента производить только с одномерным распределением помехи, а обесцвечивающего фильтра – только с корреляционной функцией помехи на его входе.

Переход от полудуплексного режима передачи к дуплексному позволит еще больше расширить возможности макета.

Библиотека БГУИР

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Савельев, М.Г., Ковальчук, Е.Н. Использование оптимальных нелинейных элементов для ослабления воздействия негауссовских помех. / М.Г. Савельев, Е.Н. Ковальчук // 51-я Научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Тезисы докл. к конференции – Минск, 2015 – С.60.

[2] Ковальчук, Е.Н., Савельев, М.Г. Модель системы связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM). / Е.Н. Ковальчук, М.Г. Савельев // 51-я Научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Тезисы докл. к конференции – Минск, 2015 – С.34.

[3] Савельев, М.Г., Ковальчук, Е.Н. Оптимальное обнаружение сигналов на фоне негауссовских помех с полосовым спектром. / М.Г. Савельев, Е.Н. Ковальчук // 11-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2015»: Тезисы докл. к конференции – Севастополь, Украина, 2015.

[4] Ковальчук, Е.Н., Савельев, М.Г. Система связи с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM). / Е.Н. Ковальчук, М.Г. Савельев // 11-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2015»: Тезисы докл. к конференции – Севастополь, Украина, 2015.