

Макет программного комплекса оценки вероятности битовой ошибки при приёме сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией в условиях непреднамеренных помех

А. В. Фомин, В. Д. Винокуров*, Т. С. Султанов
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
*vladikvin@inbox.ru

Аннотация. В статье рассмотрен программный комплекс, позволяющий имитировать функционирование канала приема/передачи информации, построенного на основе применения радиосигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией, в условиях помех. Приведены результаты исследования воздействия непреднамеренных помех различной структуры на рассматриваемый канал приема/передачи информации.

Ключевые слова: помехоустойчивость, многопозиционная фазовая манипуляция, имитационное моделирование

I. ВВЕДЕНИЕ

В области радиосвязи широкое распространение получили методы передачи информации, основанные на сигналах с цифровой модуляцией. Сегодня эти методы повсеместно используются в системах сотовой связи, цифровом телевидении, спутниковых каналах, беспроводных сетях доступа к «Интернет» и других приложениях. Особое внимание уделяется сигналам с многопозиционной фазовой манипуляцией (М-ФМн) как эффективному способу кодирования информации. Однако, реальные условия передачи/приема данных неизбежно сопровождаются искажениями, вызванными воздействием шумовых помех различного происхождения и структуры. В связи с этим, актуальной задачей становится изучение способности приемников сигналов с М-ФМн противостоять этим помехам и обеспечивать надежную передачу информации.

II. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Аналитическое описание воздействия нежелательных шумовых помех с различными характеристиками на приемник сигналов с М-ФМн представляет собой сложную задачу. Поэтому, в рамках данного исследования для её решения предложено использовать метод имитационного моделирования. С этой целью в среде математического моделирования Matlab был разработан специализированный программный комплекс. Он позволяет имитировать работу приемника в условиях воздействия шумовых помех с различными параметрами. Интерфейс разработанного программного комплекса демонстрируется на рис. 1. В структуру комплекса входят модели передатчика сигнала (блок формирования сигнала), предназначенные для генерации сигнала, модулированного информационным

сообщением. Пользователю предоставляется возможность выбора типа передаваемой информации (текст, изображение, аудиоданные), порядка манипуляции (от ФМн-2 до ФМн-16), установки несущей частоты и мощности сигнала, а также выбора скорости передачи данных и применения методов помехоустойчивого кодирования. На рис. 2 представлены примеры результатов работы блока формирования сигнала.

Программный комплекс оценки эффективности радиоэлектронного подавления приемников сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией

Вид передаваемой информации:
☒ Текст
☐ Изображение
☐ Аудио

Передаваемое сообщение
ра космического радиоэлектронного контроля

Установки передатчика:
Порядок манипуляции: QPSK
Частота несущей, fс: 10.000, кГц

Помехоустойчивое кодирование:
вкл

Битовая скорость: 12
Мощность сигнала: 0.01, Вт

Формирование сигнала

Параметры помехового воздействия:
Вид помехи:
☐ Прицельная по полосе частот ($\Delta f_{\text{н}}/\Delta f_{\text{с}} \leq 1$)
 $\Delta f_{\text{н}}/\Delta f_{\text{с}}: 0.5$
☒ Заградительная по полосе частот ($\Delta f_{\text{н}}/\Delta f_{\text{с}} > 1$)
 $\Delta f_{\text{н}}/\Delta f_{\text{с}}: 3.0$

Отстройка fн от fс: -1.000, кГц
Мощность помехи: 2.1, Вт

Формирование помехи

Оценка результативности подавления:
Количество опытов: 5
РАСЧЕТ

Принятое сообщение
лафед@к&ко;ь8&есз@вЮ ра@иобгЕктч@о)Ф

Вероятность символьной ошибки: 0.659
Вероятность битовой ошибки: 0.221

Рис. 1. Интерфейс программного комплекса

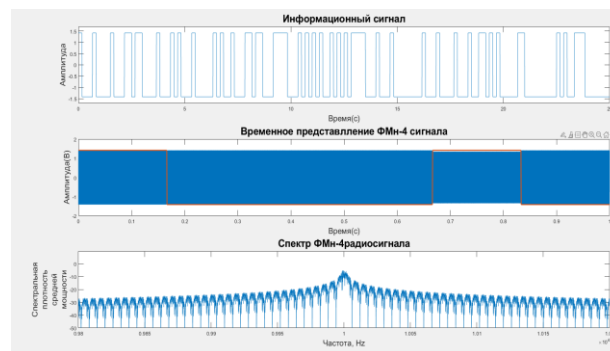


Рис. 2. Временные и частотные характеристики сформированного сигнала: а) временная форма информационного сообщения ИС; б) временная форма радиосигнала, промодулированного ИС; в) спектр радиосигнала

Модель имитации помехового воздействия позволяет генерировать шумовую помеху с заданными параметрами (пользователь может устанавливать ширину полосы помехи, её мощность, а также величину отстройки от несущей частоты полезного сигнала). Результаты работы данного блока показаны на рис. 3 и рис. 4.

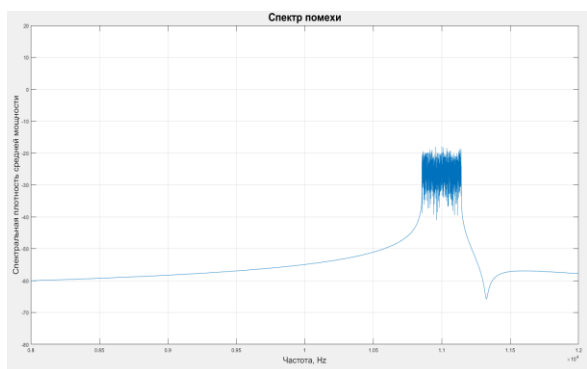


Рис. 3. Спектр сформированной помехи

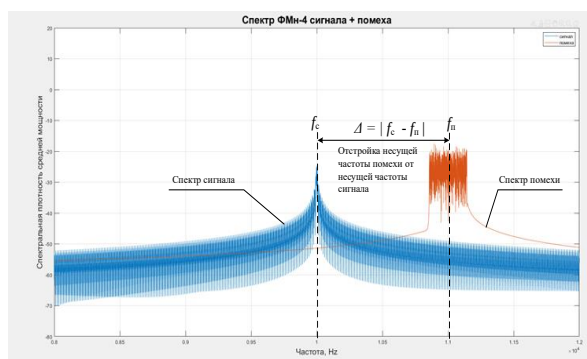


Рис. 4. Спектр смеси сигнала и помехи

В разработанном программном комплексе, модель приема сигнала реализована на основе принципов построения оптимального приемника сигналов с фазовой манипуляцией [5]. Это позволяет выделить информационное сообщение из смеси полезного сигнала и помехи. Оценка устойчивости к помехам осуществляется на основе вычисления вероятности ошибок на уровне символов и битов. Пользователю предоставлена возможность накапливать статистические данные по этим характеристикам, устанавливая необходимое количество экспериментов. Пример результатов работы модели приемника приведен на рис. 5.

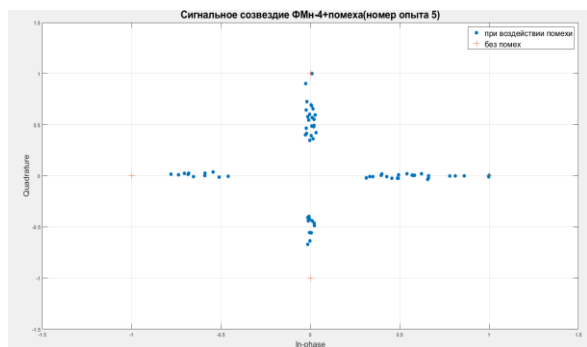


Рис. 5. Сигнальные созвездия с учетом влияния помехи (для ФМн-4)

Предложенный программный комплекс позволяет проводить серии вычислительных экспериментов, по результатам которых могут быть построены различные зависимости (например, зависимость вероятности битовой или символьной ошибки от ширины спектра, мощности помехи и её отстройки от несущей частоты полезного сигнала), характеризующие функционирование приемника сигналов с М-ФМн в условиях помех (рис. 5).

С помощью представленного комплекса возможно проводить серии вычислительных экспериментов, на основе которых могут быть получены различные зависимости (вероятность битовой (символьной) ошибки от ширины спектра, мощности помехи и её отстройки от несущей частоты сигнала), характеризующие функционирование приемника сигналов с М-ФМн в условиях помех (рис. 6, рис. 7).

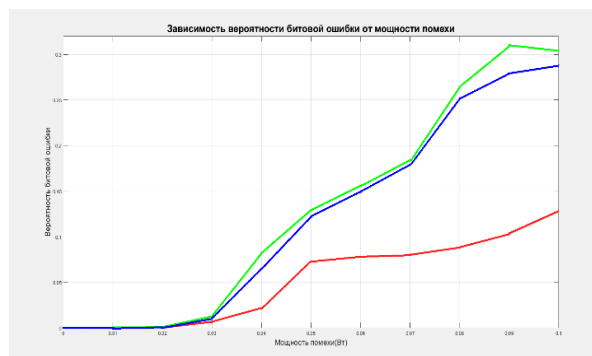


Рис. 6. График зависимости вероятности битовой ошибки от мощности помехи

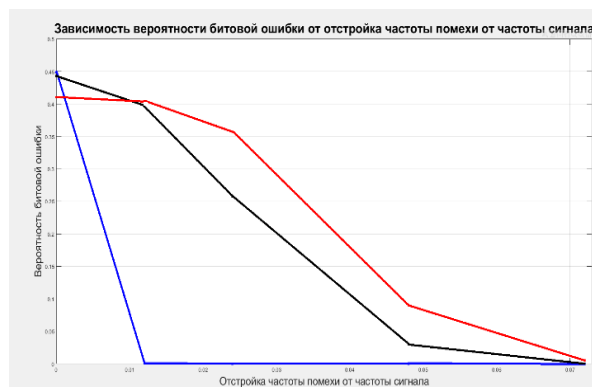


Рис. 7. График зависимости вероятности битовой ошибки от отстройки частоты помехи от частоты сигнала

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, созданный программный комплекс обеспечивает возможность имитации функционирования приемника сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией в условиях воздействия помех, преодолевая сложности, связанные с аналитическим описанием сложных процессов взаимодействия шумовых помех и сигналов с М-ФМн. Он также позволяет проводить различные исследования для выявления закономерностей, связанных с влиянием структуры помехи на качество приема информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / пер. с англ. Изд. 2-е, испр. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
- [2] Вознюк В.В., Фомин А.В., Бучинский Д.И. Исследование помехоустойчивости приёмника сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией в условиях воздействия помех с различной структурой // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского, 2019. №671. С. 120-127.
- [3] Фомин А.В., Вознюк В.В., Баранов В.М. Применение компьютерного моделирования для оценки помехоустойчивости цифровых линий связи с многопозиционной частотной манипуляцией // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2020. Т. 17, № 12. С. 20–28.
- [4] Richard C. Jaffe. Random Signals for Engineers Using MATLAB and Mathcad. Springer – Verlaq, 2000. 376 p.
- [5] Marvin K. Simon, Mohamed-Slim Alouini. Digital Communication over Fading Channels: A Unified Approach to Performance Analysis. John Wiley & Sons, Inc., 2000. 551 p.