

# 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.

Рис. 1. Интерфейс программного комплекса

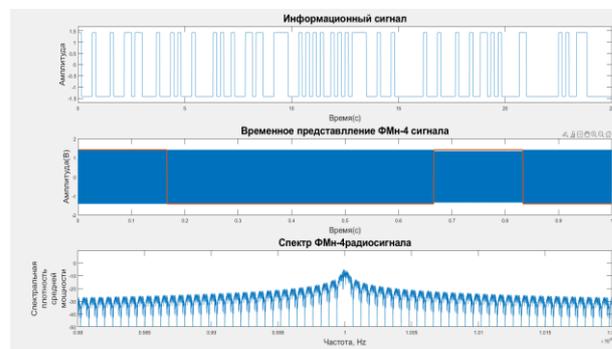


Рис. 2. Временные и частотные характеристики сформированного сигнала: а) временная форма информационного сообщения ИС; б) временная форма радиосигнала, промодулированного ИС; в) спектр радиосигнала

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.

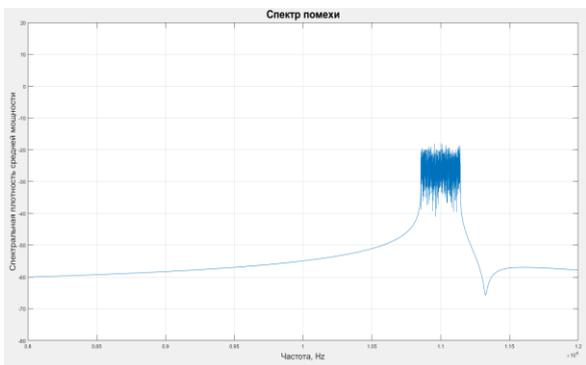


Рис. 3. Спектр сформированной помехи

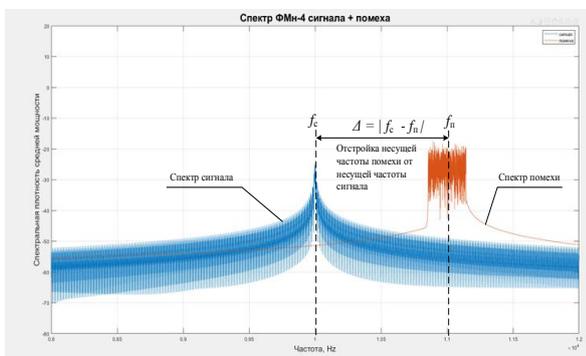


Рис. 4. Спектр смеси сигнала и помехи

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.

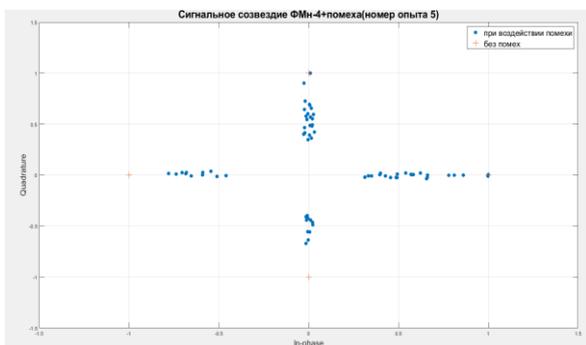


Рис. 5. Сигнальные созвездия с учетом влияния помехи (для ФМн-4)

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).

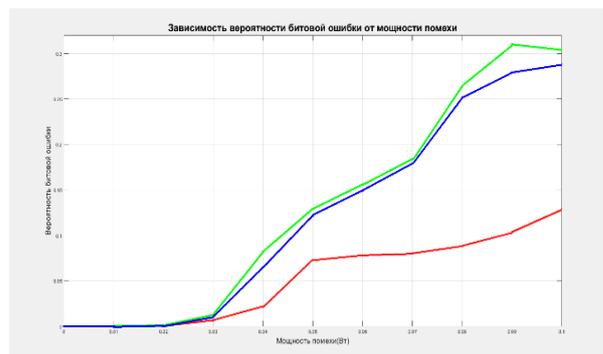


Рис. 6. График зависимости вероятности битовой ошибки от мощности помехи

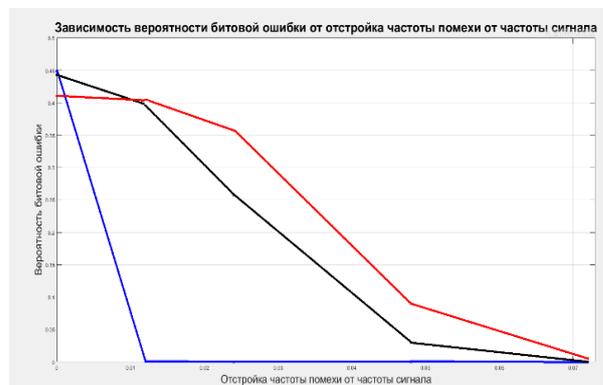


Рис. 7. График зависимости вероятности битовой ошибки от отстройки частоты помехи от частоты сигнала

### 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.