

УДК 004.451.622-047.58

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ ПО БАЗОВОЙ ЧАСТИ ПРОТОКОЛА «ОЛИВИЯ» НА ЯЗЫКЕ LabVIEW

Ф.А. ЦВЕТКОВ, В.А. МИХАЙЛОВСКИЙ, В.В. ВАСИЛЬЕВ

*Южный федеральный университет
(г. Ростов-на-Дону, Таганрог, Россия)*

E-mail: facvetkov@srfedu.ru

Аннотация. Выполнено моделирование передачи текстовых сообщений по базовой части протокола «Оливия», не охватывающее процесс частотно-временной синхронизации в приемнике. Описаны формирование сигнала передатчика и обработка сигнала в приемнике. Разработана программная модель на языке LabVIEW, выполняющая расчет битовой ошибки передачи блока из 5 текстовых символов при разной ширине спектра помехи в виде аддитивного гауссова шума. Получены оценки битовой ошибки (BER).

Благодарности: Материалы статьи подготовлены при поддержке проекта № ВнГр/23-01-РТ «Исследование программно определяемых радиосистем» в Южном федеральном университете.

Annotation. The simulation of text message transmission using the basic part of the Olivia protocol has been performed, which does not cover the process of time-frequency synchronization in the receiver. The signal generation of the transmitter and the signal processing in the receiver are described. A software model in the LabVIEW language has been developed that calculates the bit error of transmitting a block of 5 text characters at different widths of the interference spectrum in the form of additive Gaussian noise. Estimates of the bit error (BER) have been obtained.

Acknowledgements: The materials of the article were prepared with the support of the № ВнГр/23-01-РТ project «Research of software-defined radio systems» at the Southern Federal University.

Введение

В практике радиосвязи, особенно радиолюбительской, наряду с несколькими видами протоколов формирования передаваемых сигналов используется и протокол, обозначаемый как «Оливия». Протокол был разработан радиолюбителем Павлом Ялохой (Pawel Jalocho, SP9VRC) в 2004 г. и впервые испытан в 2005 г. [1, 2]. При этом отмечалась высокая помехоустойчивость канала связи с этим протоколом: возможен прием текстовых сообщений при отношении сигнал/шум (ОСШ) порядка (-10 ... -14) дБ.

Хотя официальное описание протокола «Оливия» и не опубликовано, имеется несколько версий открытого программного обеспечения для трансиверов с указаниями по его использованию на коротковолновом диапазоне [3, 4, 5]. Типично передаваемое сообщение вводится с клавиатуры компьютера, в нем оно преобразуется в последовательность отсчетов в звуковом диапазоне частот, преобразуется в звуковой карте компьютера в аналоговый звуковой сигнал и подается на аналоговый вход передатчика трансивера. Принятый приемником трансивера радиосигнал переносится в звуковой диапазон и с аналогового выхода приемника подается на вход звуковой карты, в которой преобразуется в последовательность отсчетов. Их обработка дает символы переданного текстового сообщения, выводимого на экран компьютера.

Количественные оценки помехоустойчивости протокола «Оливия» для фиксированных параметров канала передачи в литературе практически не приводятся. Поэтому с целью ее оценки было выполнено численное моделирование на языке LabVIEW модуля формирования сигнала (передающая сторона), линии передачи с аддитивным гауссовым белым шумом (АГБШ) и модуля демодуляции (приемная сторона). Для упрощения модели модуль синхронизации приемника не моделировался, т.е. частотно-временное смещение сигнала на входе приемника отсутствовало, а передаваемое сообщение состояло из одного блока из 5 текстовых символов с 7-битовыми кодами (0 ... 127).

Основная часть

При моделировании задавался типовой набор параметров сигнала «Оливия»: множественная частотная манипуляция (MFSK) с количеством тонов 32, центральная частота – 1500 Гц, полоса частот – 1000 Гц, длительность тона – 32 мс, частота дискретизации – 8 кГц, количество текстовых символов в блоке – 5, количество отсчетов в функциях Уолша-Адамара в узле прямой коррекции ошибок (FEC) – 64, скремблирующий

код – как в оригинальной версии протокола: 0xE4B766AFC10C53D1 (64-бита), перемежение битов – как в оригинальной версии протокола. В моделирующей программе предусмотрено добавление к сформированному передающей стороной сигналу шума с задаваемым уровнем среднеквадратического отклонения (СКО): АГБШ или узкополосного шума с близкой к прямоугольной спектральной плотностью с регулируемой центральной частотой и шириной спектра. Моделирование выполняется в цикле, в каждой итерации которого ОСШ последовательно увеличивается на 0,25 дБ. При каждом значении ОСШ оценивается вероятное значение битовой ошибки (BER), т.е. получается оценка зависимости BER(ОСШ) для заданного набора значений параметров моделирования.

Функциональная диаграмма, разработанная программы, моделирующей передачу сообщений по протоколу «Оливия», показана на рис. 1.

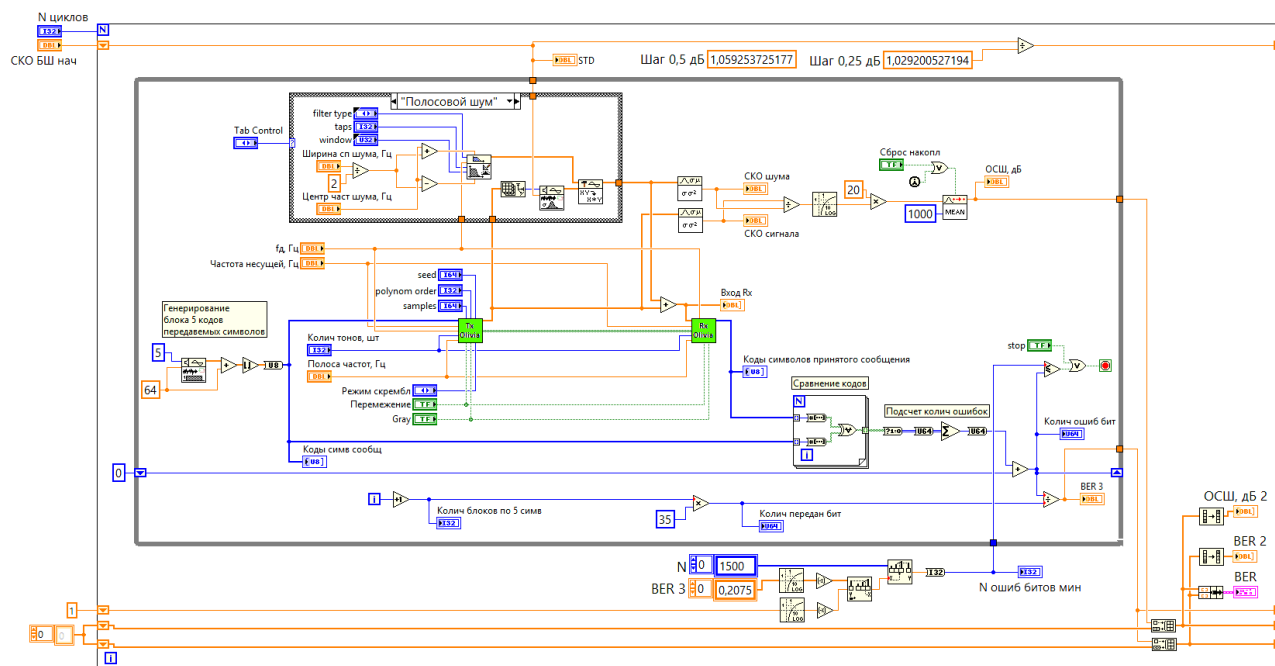


Рис. 1. Функциональная диаграмма модели передачи сообщений по протоколу «Оливия»

Программа реализована в виде двух вложенных циклов: внешнего и внутреннего. Внешний цикл обеспечивает повторные расчеты BER при увеличивающемся на 0,25 дБ ОСШ. Количество итераций ограничено 20, при этом достигается снижение BER до менее 10^{-6} . Внутренний цикл обеспечивает повторные расчеты при сочетании случайной последовательности 5 кодов и случайного шума и выполняется многократно до достижения некоторого суммарного количества ошибочных бит (N ошибок битов мин). По мере снижения BER это количество также уменьшается от 1500 до 10, что позволяет получить какую-то надежность результатов расчетов за приемлемое время моделирования.

Основой внутреннего цикла являются две подпрограммы: «Tx Olivia» и «Rx Olivia».

Подпрограмма «Tx Olivia» формирует передаваемый сигнал по последовательности из пяти передаваемых текстовых символов (их кодов). «Rx Olivia» обрабатывает принятый сигнал для получения последовательности из пяти переданных текстовых символов (кодов). При передаче сигнала от «Tx Olivia» к «Rx Olivia» к нему добавляется гауссов шум – широкополосный (АГБШ) или полосовой, параметры спектральной плотности которого задаются с лицевой панели программы.

По реализации сигнала от передатчика и шума вычисляется ОСШ как отношение соответствующих СКО.

Блок из пяти передаваемых текстовых символов генерируется как псевдослучайная последовательность из пяти цифровых кодов в диапазоне 0 ... 127. Эти коды затем побитно сравниваются с кодами на выходе «Rx Olivia», и вычисляется количество не совпавших бит. Одновременно рассчитывается общее количество переданных бит. Отношение количества не совпавших к количеству переданных бит принимается за оценку BER. Оценки BER и ОСШ накапливаются в виде массивов, по которым строится график BER(ОСШ).

Подпрограмма «Tx Olivia»

По передаваемым 5 числам (коды символов сообщений) сначала формируются спектры будущих пяти функций Уолша из 64-х составляющих, причем 63 составляющие нулевые и только одна имеет значение +1 или -1: если код передаваемого числа меньше 64, то составляющая имеет значение +1 и располагается на позиции с номером, равным коду числа; если код числа больше 63, то соответствующая ему составляющая спектра имеет значение -1 и располагается на позиции с номером, равным коду числа минус 64. Пример получаемых спектров показан на рис. 2. Затем по каждому из этих спектров обратным преобразованием Уолша-Адамара рассчитываются сами функции Уолша-Адамара, также показанные на рис. 2.

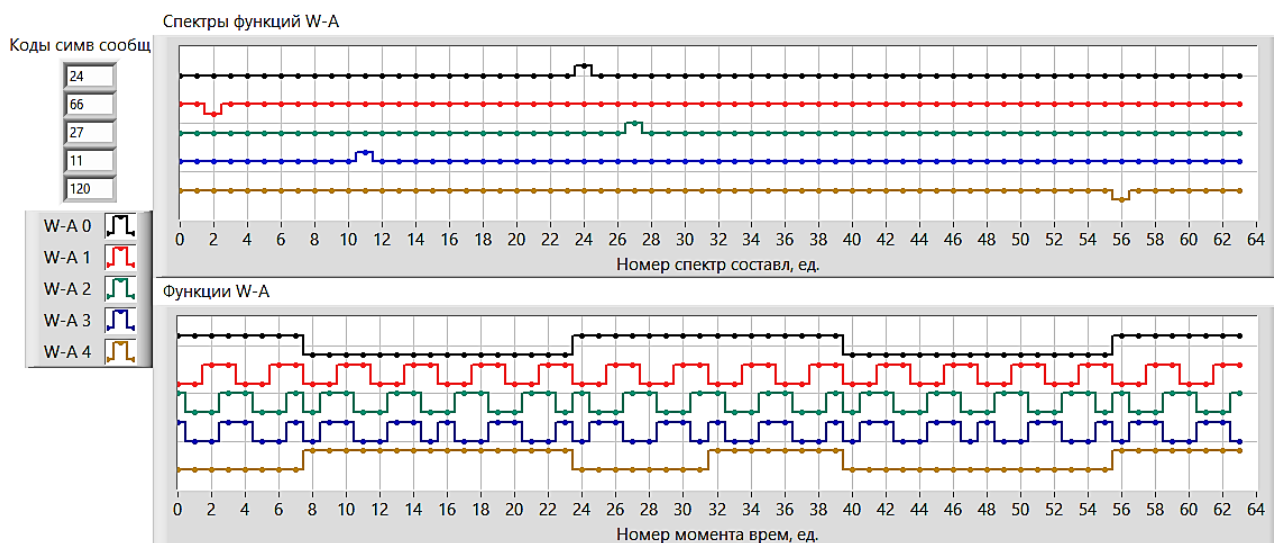


Рис. 2. Передаваемые коды, спектры и функции Уолша-Адамара

На рис.3 показаны булевы образы этих Функций Уолша-Адамара. Они подвергаются скремблированию выполнением операции XOR со скремблирующими функциями, также показанными на рис. 3. Полученные после скремблирования функции $w_{0...1}$ подаются на перемежитель битов, на выходе которого получают 5 64-битовых последовательностей «Перемеженные Тх» (см. рис. 3).

Чтение столбцов 2-мерного массива «Перемеженные Тх» слева-направо дает последовательность 5-битовых кодов: 19, 13, 7, 0, 16, ..., 4, 20, 31, 2, 5 (всего 64 кода). Эти коды проходят через преобразователь Грэя. Коды на его выходе являются номерами тонов MFSK, по которым формируется выходной сигнал «Выход Тх» как последовательность наложенных один на другой 64 тонов длительностью по 32 мс каждый. Особенностью является генерирование тона удвоенной длительности с взвешиванием его окном, опубликованном в оригинальной версии протокола. На рис. 4 показан для примера сгенерированный взвешенный тон длиной 512 отсчетов при частоте дискретизации 8 кГц.

Очередной тон «накладывается» на него со сдвигом на 256 отсчетов, т.е. спадание амплитуды предыдущего тона происходит одновременно с возрастанием амплитуды очередного тона. В результате передача 5 текстовых символов (35 бит) происходит за 2,048 с в полосе частот 1 кГц.

На рис. 5 показан полный сигнал передачи некоторых 5 символов, а на рис.6 – его фрагмент, содержащий 4 тона из 64.

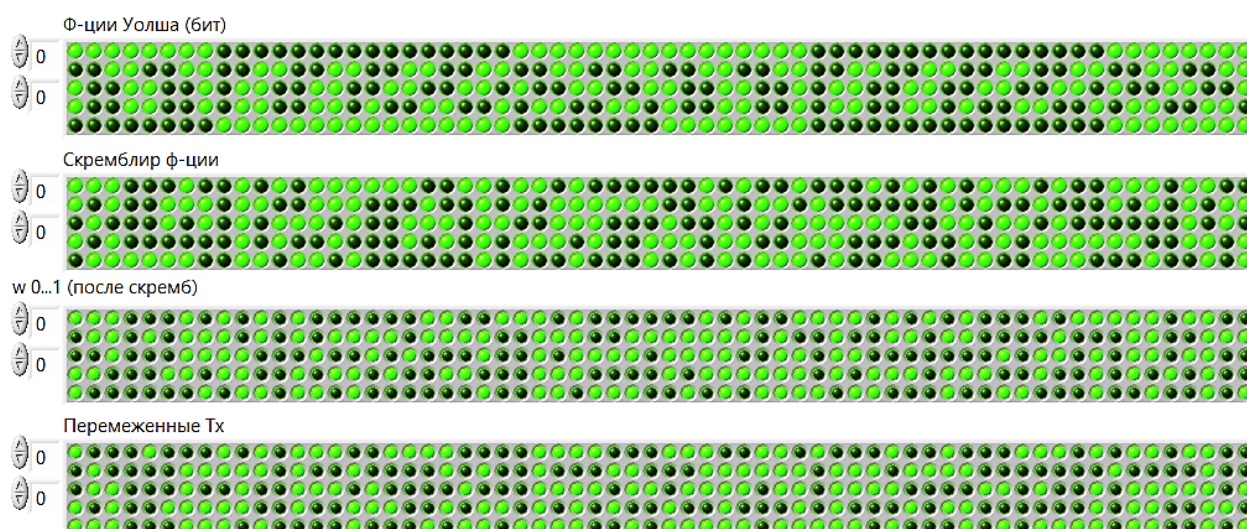


Рис. 3. Булевы образы функций: Уолша-Адамара, скремблирующих, $w 0 \dots 1$ и перемеженных

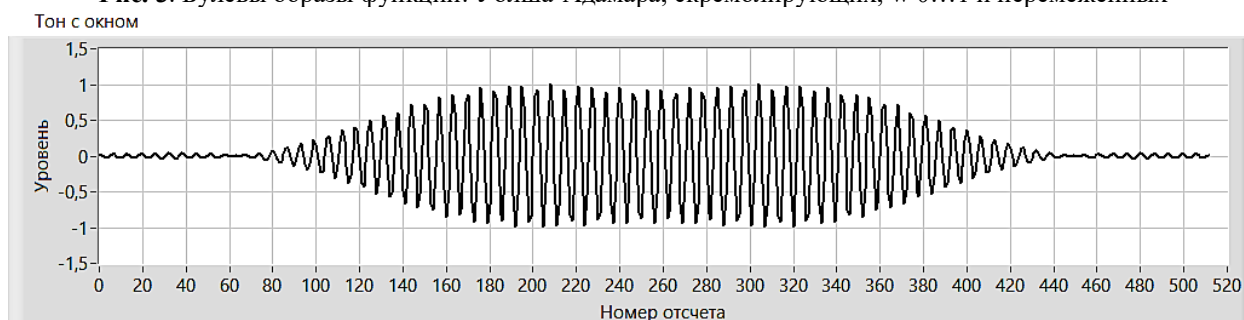


Рис. 4. Сгенерированный взвешенный тон

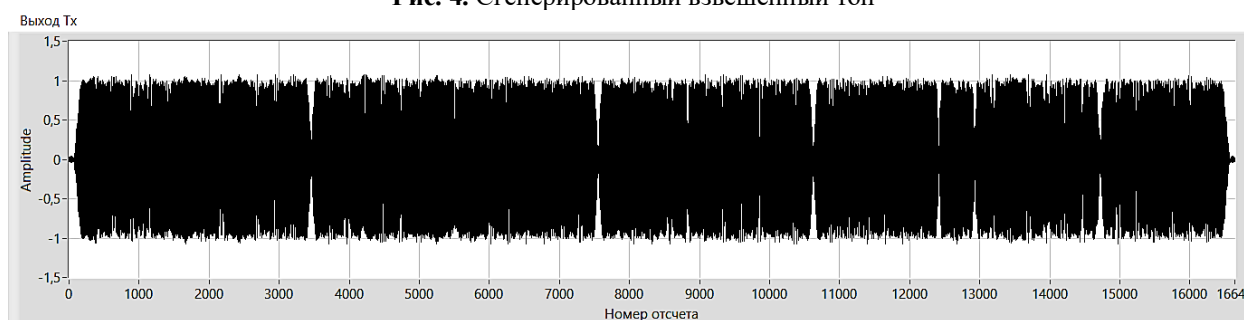


Рис. 5. Полный сигнал передачи некоторых 5 символов

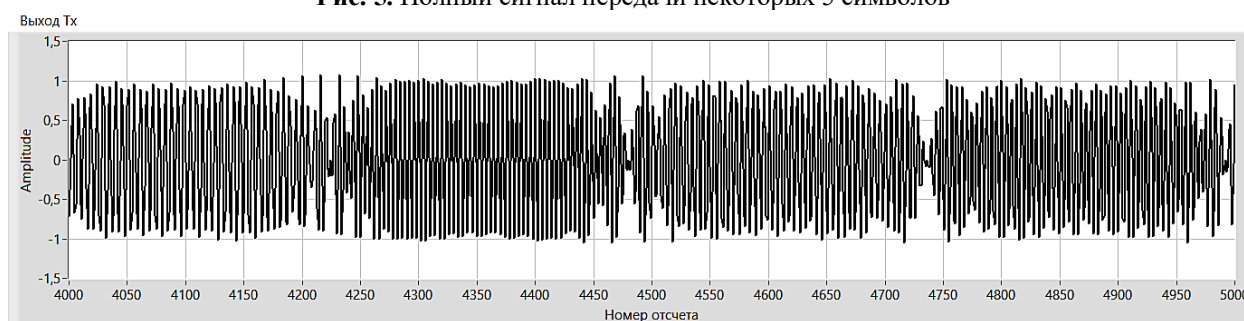


Рис. 6. Фрагмент полного сигнала передачи некоторых 5 символов

Подпрограмма «Rx Olivia»

Подпрограмма «Rx Olivia» реализует упрощенный алгоритм обработки поступающего на нее сигнала:

- не содержит частотно-временной синхронизации;
- применяет «жесткие», а не «мягкие» алгоритмы принятия решений.

Поэтому данная модель протокола «Оливия» должна рассматриваться как «Предварительная», ставящая целью показать работоспособность алгоритма. Более полная модель должна включать в себя временную синхронизацию, коррекцию настройки на частоту несущей, компенсацию неодинаковости частот дискретизации в звуковых картах компьютеров передатчика и приемника, применение «мягких» алгоритмов принятия решений и др.

Из поступившего сигнала удаляются первые 128 отсчетов, а из оставшейся части последовательно «вырезаются» 64 фрагмента по 256 отсчетов. По каждому фрагменту вычисляется его Фурье-спектр. На рис. 7 показан некоторый фрагмент поступившего сигнала, а на рис. 8 – его амплитудный Фурье-спектр.

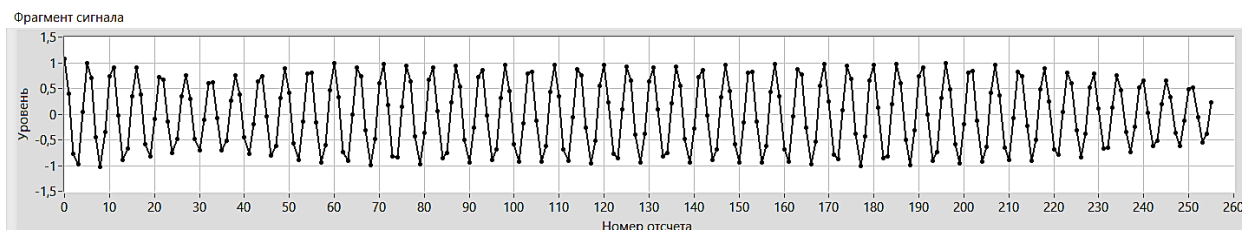


Рис. 7. Фрагмент полного сигнала для вычисления БПФ-спектра

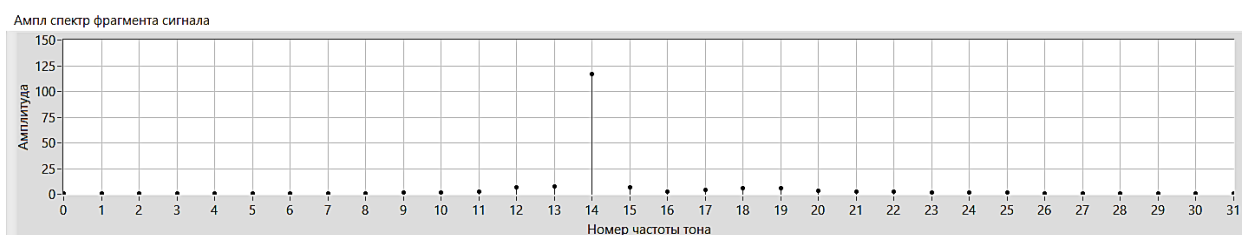


Рис. 8. Амплитудный БПФ-спектр фрагмента

По полученному спектру определяется номер составляющей с максимальной амплитудой. В данном случае это – 14. В итоге по Фурье-спектрам всех 64 фрагментов получаются 64 номера составляющих с максимальной амплитудой, т.е. выполнена MFSK-демодуляция. Полученные коды пропускаются через обратный преобразователь Грэя. По этим кодам строится двумерный булев массив, который должен быть копией массива «Перемеженные Тх» на рис. 3. После чего последовательно выполняются операции дегерметирования и дескремблирования. В результате получится двумерный массив 5x64, каждая строка которого содержит 64 отсчета функции Уолша-Адамара (предполагается замена: логический 0 – значение отсчета -1, логическая 1 – значение отсчета +1). Для каждой полученной функции Уолша-Адамара вычисляется прямое преобразование Уолша. Вид функций Уолша-Адамара и их спектры аналогичны показанным на рис. 2.

В каждом полученном спектре Уолша определяется номер спектральной составляющей максимальной по модулю и ее знак. Номер составляющей преобразуется в код переданного символа (в зависимости от знака составляющей к номеру добавляется 0 или 64). Результатом являются коды пяти переданных символов.

Результаты работы программной модели

Описанная выше модель канала связи по протоколу «Оливия» использовалась для расчета BER при наличии шума АГБШ (полоса частот 0 ... 4 кГц) и полосового шума с центральной частотой 1,5 кГц и различной шириной спектра. Параметры канала передачи: частота дискретизации – 8 кГц, центральная частота MFSK – 1,5 кГц, полоса частот MFSK – 1 кГц, длительность тона – 32 мс, количество тонов – 32, смещение по времени – 0, смещение по частоте – 0, количество передаваемых кодов символов – 5, характер передаваемых кодов – псевдслучайные в диапазоне 0 ... 127.

Полученные зависимости BER(ОСШ) при разной ширине спектра шума показаны на рис. 9.

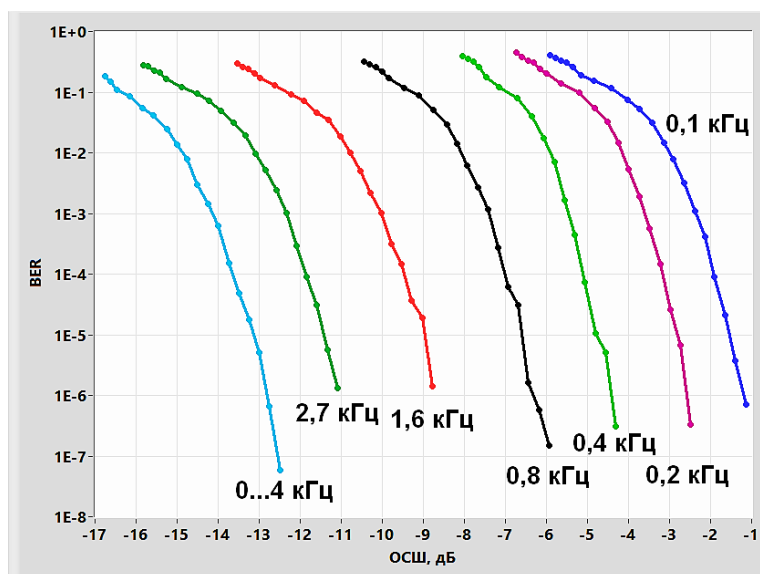


Рис. 9. Зависимости BER(ОСШ) при разной ширине спектра шума

Из этих результатов видно, что разработанная модель имеет высокую помехоустойчивость к гауссовым шумам, особенно широкополосным.

Заключение

Разработанная предварительная модель канала связи по протоколу «Оливия» работоспособна и показывает высокую помехоустойчивость к гауссовым шумам, особенно широкополосным. Для получения более полных сведений о свойствах протокола необходима доработка модели в части синхронизации, компенсации частотных сдвигов, введения негауссовых помех.

Работа выполнена в рамках проекта № ВнГр/23-01-РТ «Исследование программно определяемых радиосистем» в Южном федеральном университете.

Список использованных источников

1. <https://www.sigidwiki.com/wiki/Olivia>
2. Lazzaro D., Santandrea F. "Python implementation of the Olivia digital modulation". Course Work for Numerical Methods, Department of Computer Science – Science and Engineering, Alma Mater Studiorum – University of Bologna, Cesena Campus, [2019/2020].
3. https://gropedia.com/page/Olivia_MFSK
4. <https://oliviadigitalmode.org/>
5. https://rigexpert.com/wp-content/uploads/2023/02/mixw4_help_en-1.pdf