

*РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ OFDM-СИСТЕМЫ, НАСТРОЕННОЙ
НА РАБОТУ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ*

Р.Х. БАГДАСАРЯН, А.А. ШАЙХАМАТОВ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: said.shaykhamatov@yandex.ru*

В наше время развитие средств цифровой обработки и прочего оборудования приводит к минимизации появления ошибок при передаче данных и расширению полосы пропускания канала. Существует большая заинтересованность применения беспроводных средств связи в акустических каналах связи. Данная задача позволяет решить проблемы высокоскоростной связи между объектами, находящимися под водой и над водой. Решение текущей задачи осуществляется использованием технологии OFDM. В работе проанализированы алгоритмы беспроводной передачи данных. Также была наглядно продемонстрирована работа OFDM-системы. Разработана модель OFDM-системы, настроенной на гидроакустический канал в программной среде Matlab. Также была выявлена взаимосвязанность ошибок сигнала и отношения с/ш при передаче данных.

Ключевые слова: OFDM, гидроакустический канал, поднесущая, система OFDM, модулятор, битовая ошибка.

OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) – это мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов.

Внедрить технологию OFDM удалось недавно. Основной принцип работы OFDM состоит в разделении высокоскоростного потока данных путем независимой модуляции на множество низкоскоростных потоков и их одновременной передачи через несколько поднесущих. Межсимвольная интерференция устраняется почти полностью введением циклического префикса в каждый символ. Для устранения интерференции между поднесущими, интервалы между символами расширяются [3].

Наглядное устранение интерференции между поднесущими представлено на рисунке 1

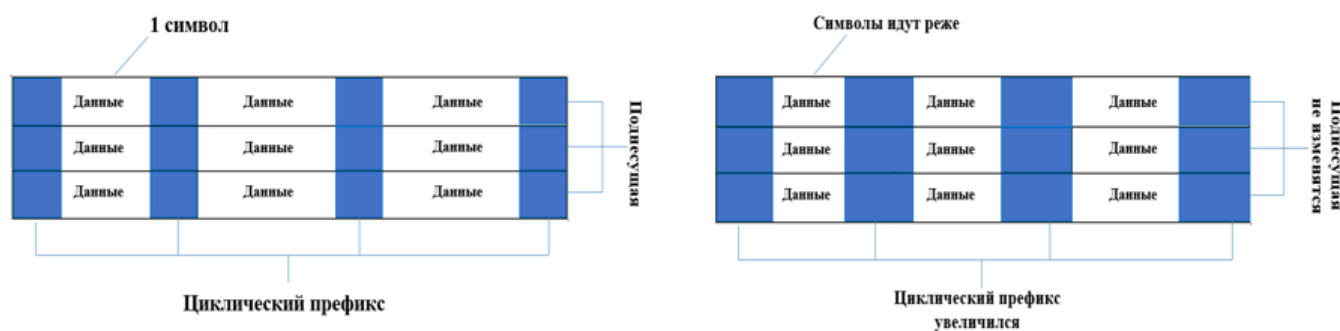


Рисунок 1 - Наглядное устранение интерференции между поднесущими

OFDM реализуется с помощью алгоритма FFT (прямое преобразование Фурье). Формула для прямого преобразования:

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{\mu=0}^{N-1} X_{\mu} \cdot e^{\frac{j\pi n \mu}{N}}, \quad n = 0, 1, \dots, N - 1$$

На 1 этапе с помощью FFT искусственно создаётся спектр сигнала.

На 2 этапе с помощью алгоритма обратного IFFT осуществляется получение из спектра аналогового сигнала, состоящего из ортогональных поднесущих.

Формула для обратного преобразования Фурье:

$$X_{\mu} = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cdot e^{-\frac{j\pi n \mu}{N}}, \quad n = 0, 1, \dots, N - 1$$

После цифровой обработки происходит компоновка и передача сигнала на излучающую антенну.

Функциональная схема передатчика OFDM показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Функциональная схема передатчика OFDM

Функциональная схема приемника OFDM показана на рисунке 3

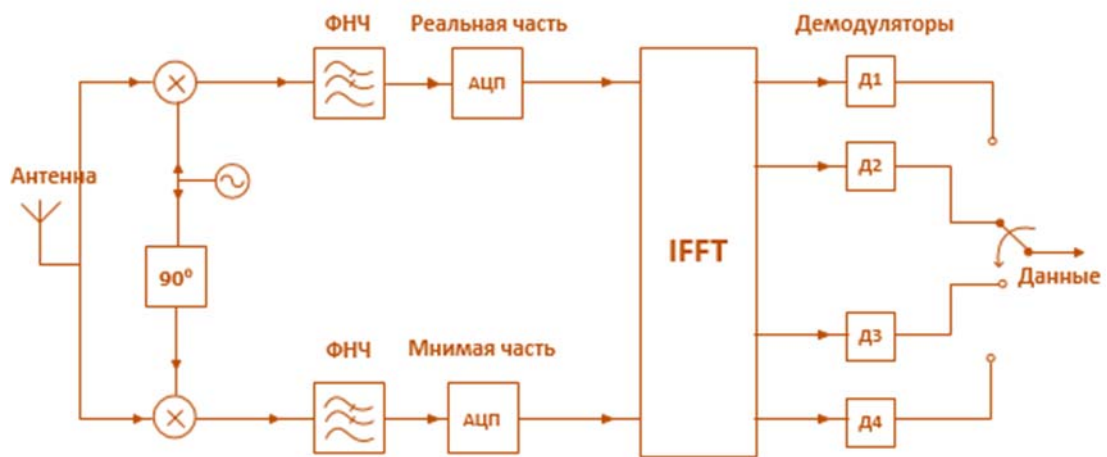


Рисунок 3 – Функциональная схема передатчика OFDM

Покажем наглядно работу OFDM-системы. Модель работы системы OFDM показана на рисунке 4



Рисунок 4 - Модель работы системы OFDM

Генератор случайных данных генерирует случайные данные. PSK-модулятор преобразует сигнал в фазомодулированный. OFDM-модулятор осуществляет суммирование поднесущих, посредством обратного FFT в зашумленный сигнал. Сигнал при прохождении по каналу связи искажается из-за шумов [3].

При пересылке сигнала от передающей антенны к принимающей происходит его искажение, которое зависит от следующих параметров:

- 1) дистанция между источником и приемником;
- 2) выбранного пути передачи;
- 3) среды, в которой происходит передача.

Самой важной гидроакустической характеристикой является шум окружающей среды. Шум в гидроакустическом канале представляется как постоянная составляющая. Он подразделяется на 4 вида [2]:

- 1) турбулентный шум (N_T);
- 2) корабельный шум (N_K);
- 3) шум ветра ($N_{ш}$);
- 4) термический шум ($N_{тер.}$).

$$N_T(f) = 17 - 30\log_{10}f;$$

$$N_K(f) = 40 + 20(s - 0,5) + 26\log_{10}f - 60\log_{10}(f + 0,03);$$

$$N_{ш}(f) = 50 + 7,5\sqrt{W} + 20\log_{10}f - 40\log_{10}(f + 0,4);$$

$$N_{тер.}(f) = -15 + 20\log_{10}f.$$

Построим модель системы OFDM, настроенную на гидроакустический канал. В данной модели используются 3 вида модуляции: 8-PSK, 16-PSK и QPSK. Задача моделирования представляет собой анализ корреляции величины битовой ошибки, отношения сигнал/шум (с/ш) в канале передачи и типа модуляции [1]. Система OFDM, настроенная на гидроакустический канал, спроектированная в программе Matlab показана на рисунке 5.

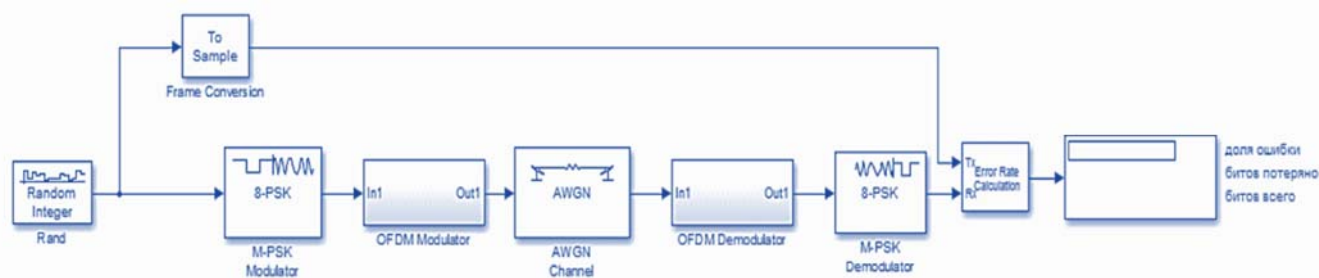


Рисунок 5 - Система OFDM, настроенная на гидроакустический канал, спроектированная в программе Matlab

Выбранные параметры для моделирования представлены в таблице 1

Таблица 1 - Выбранные параметры для моделирования

Длительность моделирования	Несущая частота	Длит-ть ЗИ	Длит-ть полезн. символа	Полная длит-ть символа	Кол-во поднесущих	Вид модуляции	Отнош. С/Ш канала
1.9 с	4.5 кГц	150 мс	370 мс	520 мс	1024	8-PSK	1 дБ

Сформированный OFDM-сигнал на выходе передатчика представлен на рисунке 6

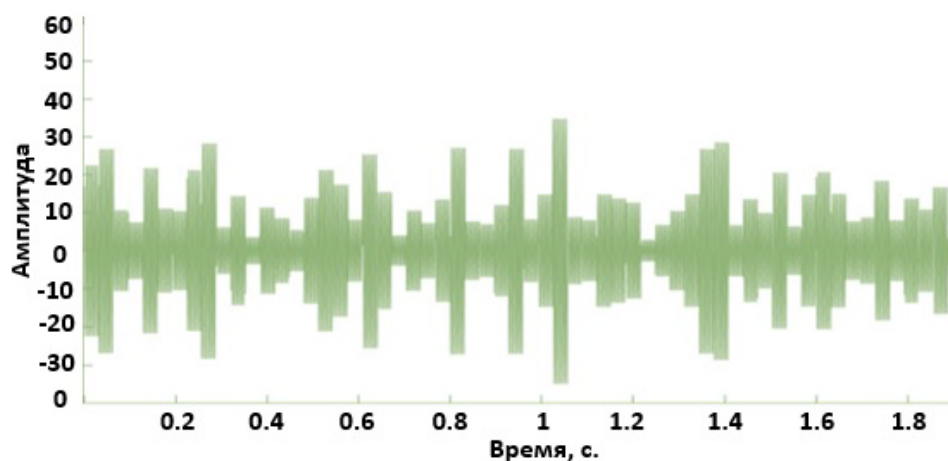


Рисунок 6 - Сформированный OFDM-сигнал на выходе передатчика

Искаженный сигнал после прохождения канала представлен на рисунке 7

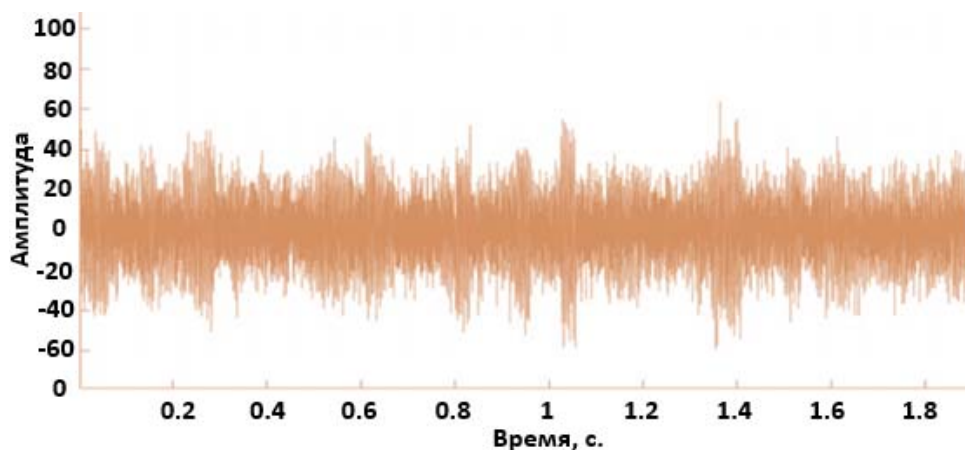


Рисунок 7 - Искаженный сигнал после прохождения канала

При исследовании OFDM-системы с QPSK модуляцией, был сделан вывод, что при меньших значениях отношения с/ш, сигнал "расплывается", т.е. усложняется демодуляция данного сигнала. Если возьмем абсолютно мелкие значения отношения с/ш, то демодуляция сигнала станет неосуществимой.

Результаты моделирования показывают, что с увеличением числа бит, передаваемых поднесущими, возрастает и размер ошибок сравнительно с общим числом переданных бит. Также видно, что размер битовой ошибки зависит от отношения с/ш. При такой зависимости, с ростом мощности сигнала уменьшается число неверно принятых бит данных. В итоге, можно сказать, что для гарантирования надежной передачи данных, разрядность модуляции

должна выбираться в соответствии с значением отношения с/ш в канале передачи данных. Работа OFDM-модуляции безусловно удобна в данном отношении, так как позволяет легко модифицировать следующие параметры: величины несущих, тип модуляции, длительность циклического префикса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Won Young Yang, Chung G. Kang. MIMO-OFDM Wireless Communications // John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd. – 2010
2. Шэнли Чжоу, Чжаохуэй Ванг. OFDM для подводной акустической связи. - Нью-Джерси, 2014. - 410 с.
3. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шлома А.М., Шумов А.П. Технология OFDM. М.: Горячая линия-Телеком. 2016. 360 с.

REFERENCES

1. Won Young Yang, Chung G. Kang. MIMO-OFDM Wireless Communications // John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd. – 2010
2. Shjenli Chzhou, Chzhaohujej Vang. OFDM dlja podvodnoj akusticheskoj svjazi. - N'ju-Dzhersi, 2014. - 410 s.
3. Bakulin M.G., Krejndelin V.B., Shloma A.M., Shumov A.P. Tehnologija OFDM. M.: Gorjachaja linija-Telekom. 2016. 360 s.

DEVELOPMENT OF MODEL OF OFDM-SYSTEM, SET ON WORK IN HYDROACOUSTIC CHANNEL

R.KH. BAGDASARYAN, A.A. SHAIKHAMATOV

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya St., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail: said.shaykhamatov@yandex.ru*

Presently elaboration of means of numeric handling and the other equipment leads to minimization of emergence of errors in case of data transfer, to magnification in throughput of relation links. There is a big interest of use of cordless means of relation not only in a radio relation, but also for acoustical relation. This task allows to decide problems of big rapidity relation between surface and underwater objects which can be utilized for rescue, research and elaboration efforts etc. The solution of this task is performed by use of OFDM. In this operation algorithms of wireless information transfer are considered, operation of OFDM was also visually provided. The OFDM system model which is set up on operation in the hydro acoustic canal is developed (in a software wednesday of Matlab). Also dependences of bit errors of a signal from the relation signal/ uproar in case of information transfer were revealed.

Key words: OFDM, hydro acoustic channel, OFDM system, modulator, bit error, relation signal/noise.