



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2021.3.3>

УДК 621.39

ББК 32.88

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕМ

**Ольга Евгеньевна Сафонова**

Кандидат экономических наук, доцент кафедры телекоммуникационных систем,  
Волгоградский государственный университет  
tks@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Елена Евгеньевна Арепьева**

Кандидат экономических наук, доцент кафедры телекоммуникационных систем,  
Волгоградский государственный университет  
tks@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Надежда Николаевна Ермакова**

Ассистент кафедры телекоммуникационных систем,  
Волгоградский государственный университет  
tks@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассмотрен способ улучшения качества передачи информации в системах связи с ортогональным частотным мультиплексированием. Показано, что при увеличении количества приемных и передающих антенн помехоустойчивость значительно увеличивается.

**Ключевые слова:** ортогональное частотное мультиплексирование, ММО, полоса частот, эффективность передачи, системы связи.

Технология частотного разделения на ортогональные несущие является эффективным, современным способом передачи данных как в проводных каналах связи, так и в радиочастотных каналах.

Осуществляя передачу информации на многих несущих, широкополосный входной сигнал разбивается на несколько узкополосных сигналов в передающей стороне и принима-

ется в приемной. Существующая ортогональность между подканалами подавляет межканальную и межсимвольную интерференцию, тем самым, происходит достоверная передача данных.

Активное внедрение технологии ортогонального частотного мультиплексирования (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) в настоящий момент начинают ши-

роко применять в беспроводных системах передачи, телевидении, радиосвязи, радиовещании. Эффективность применения выделенной полосы частот на постоянной высокой скорости передачи позволяет бороться с помехами, возникающими при передаче полезной информации по радиоканалу [1].

Технология OFDM применяется во многих областях техники и связи. Например:

- в спутниковых системах связи;
- в радиорелейных системах связи;
- системе РАВИС (отечественная разработка), DVB (T, T2, H, SH, T2lite), DAB, DAB+, DRM, DRM+, T-DMB, ISDB-T, MediaFLO, Eureka-147;
- в стандартах кабельного цифрового телевизионного вещания DVB-C2 и передачи данных ADSL и VDSL;
- в стандартах PLC;
- в стандартах ПД IEEE 802.11a/g/n/ac, IEEE 802.16d/e, IEEE 802.16m, LTE и LTE-A;
- в сети нового поколения 5G NR;
- использование в сверхширокополосных сетях передачи данных на основе стандарта IEEE 802.15.3a (Ultra-Wideband Technology, UWB) и последующих разработок.

Существенные недостатки в передаче технологии OFDM:

- относительно медленное затухание боковых лепестков спектра, которое приводит к интерференции соседнего канала;
- защитный интервал (вводится для разделения сообщений по номеру канала), который приводит к появлению переходного процесса.

Существенные недостатки в приемнике технологии OFDM:

- на приемной стороне возникает рас-синхронизация по частоте под воздействием аддитивных и мультипликативных помех как результат появления межсимвольной и межканальной интерференции;
- не выполняется основной принцип технологии ортогональности как следствие прерывание приема сообщений.

В системах передачи информации, основанных на беспроводной технологии MIMO и OFDM, распространение физического сигнала в пространстве приводит к дисперсии, что негативным образом влияет на приемную сторону и ведет к увеличению вероятности ошибки оценки принимаемого сообщения [2].

В работе была исследована программная модель MIMO OFDM (модуляторов и демодуляторов). В результате проведенного анализа была получена зависимость появления частоты ошибки от вероятности появления ошибки. Это показало, что использование OFDM и MIMO предъявляет повышенные требования к оцениванию канала. На рисунке 1 представлена зависимость частоты ошибок от вероятности нуля.

В результате эксперимента и в ходе проведенной работы по полученным данным можно сделать заключение, что если проводить оценку канала связи при использовании OFDM и MIMO, можно достичь требуемого качества передачи сообщений в современных радиоканалах с замиранием (рис. 2).

Проводили эксперимент по изменению количества приемно-передающих антенн и

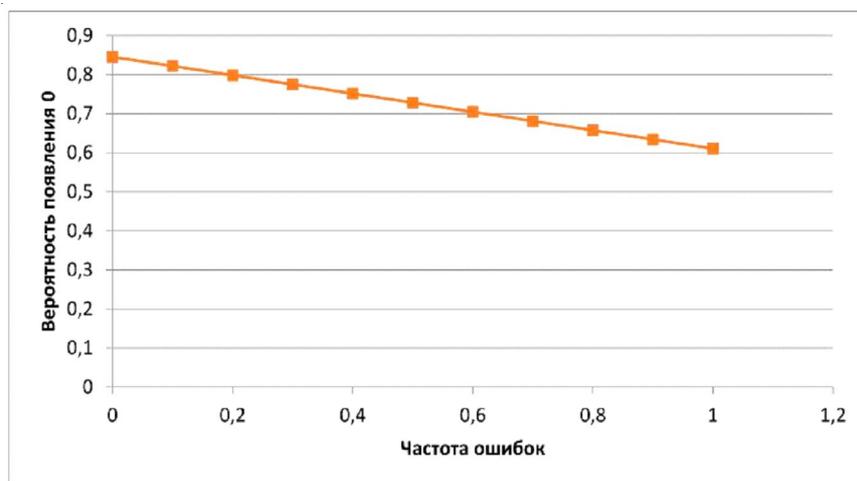


Рис. 1. Зависимость частоты ошибок от вероятности нуля

соотношения сигнал/шум, получили зависимость появления ошибки (рис. 3) от количества приемопередающих антенн.

В итоге, определив зависимость вероятности появления ошибки (BER) от соотношения сигнал/шум (SNR), можно сделать вывод о том, что при увеличении количества приемных и передающих антенн помехоустойчивость значительно увеличивается.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков, А. М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика : учеб. пособие / А. М. Голиков. – СПб. : Лань, 2018. – 452 с.

2. MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB / Cho Yong Soo, Kim Jaekwon, Yang Won Young, Kang Chung G. // IEEE PRESS. – John Wiley & Sons., 2010. – P. 111–135.

### REFERENCES

1. Golikov A.M. Modulyaciya, kodirovanie i modelirovanie v telekommunikacionnyh sistemah. Teoriya i praktika: ucheb. posobie [Modules, Coding and Modeling in the Field of Communication Systems. Theory and Practice. Textbook]. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2018. 452 p.

2. Cho Yong Soo, Kim Jaekwon, Yang Won Young, Kang Chung G. MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB. IEEE PRESS. John Wiley & Sons, 2010, pp. 111-135.

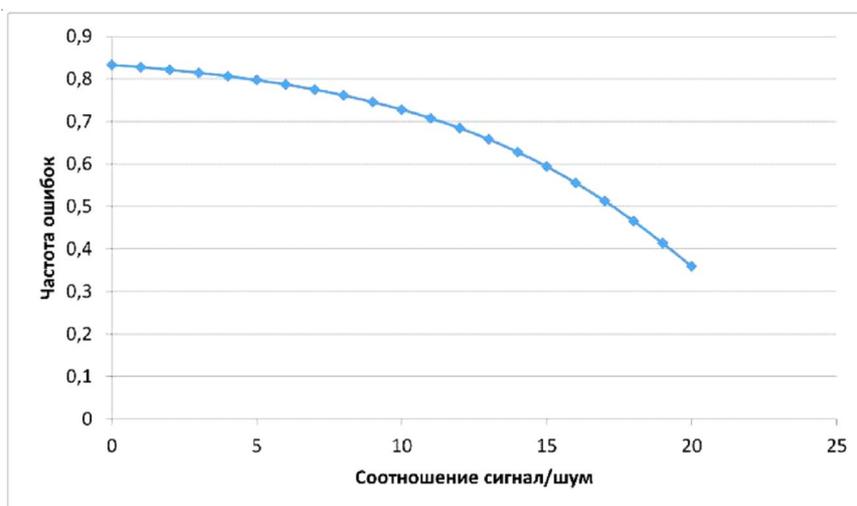


Рис. 2. Зависимость частоты ошибок от отношения сигнал/шум

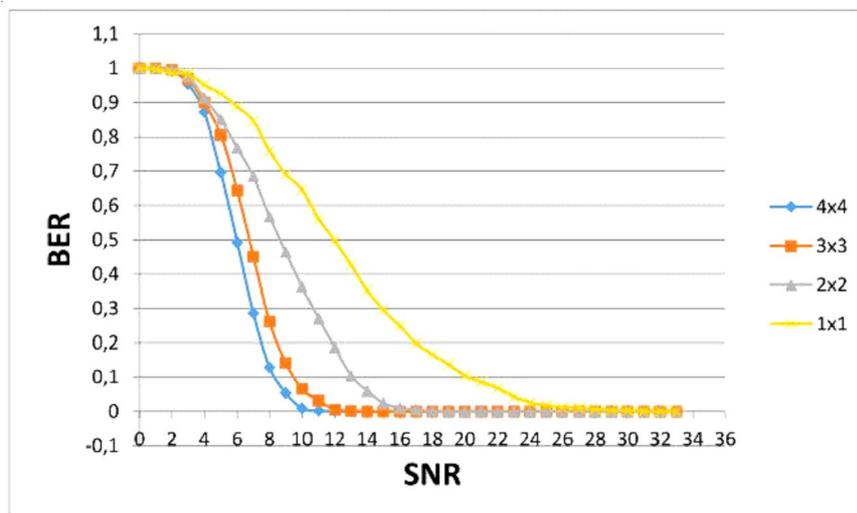


Рис. 3. Зависимость появления ошибки BER от SNR

**IMPROVED EFFICIENCY OF DATA TRANSMISSION  
IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS  
WITH ORTHOGONAL FREQUENCY MULTIPLEXING**

**Olga E. Safonova**

Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor,  
Department of Telecommunication Systems,  
Volgograd State University  
tks@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Elena E. Arepyeva**

Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor,  
Department of Telecommunication Systems,  
Volgograd State University  
tks@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Nadezhda N. Ermakova**

Assistant, Department of Telecommunication Systems,  
Volgograd State University  
tks@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** The active introduction of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) technology is now beginning to be widely used in wireless transmission systems, television, radio communication, and radio broadcasting. The efficiency of using a dedicated frequency band at a constant high transmission rate allows you to combat interference arising from the transmission of a useful information on the radio channel. A method of improving quality of information transmission in communication systems with orthogonal frequency multiplexing is described. It is shown that with an increase in the number of receiving and transmitting antennas, the noise immunity increases significantly. An experiment was carried out to change the number of receiving-transmitting antennas and the signal-to-noise ratio, and the dependence of the appearance of an error on the number of transmitting antennas was obtained. The work investigated the software model of MIMO OFDM (modulators and demodulators). As a result of the analysis, the dependence of the appearance of the error frequency on the probability of the error was obtained. This showed that the use of OFDM and MIMO places increased demands on channel estimatio.

**Key words:** orthogonal frequency multiplexing, MIMO, frequency band, transmission efficiency, communication systems.