



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2022.3.3>

УДК 654.027

ББК 32.88

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАВАЕМОГО СИГНАЛА В КАНАЛЕ СВЯЗИ

**Надежда Николаевна Ермакова**

Аспирант, кафедры телекоммуникационных систем,  
Волгоградский государственный университет  
ermakova.nadezhda@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Дмитрий Александрович Тюхтяев**

Старший преподаватель, кафедры телекоммуникационных систем,  
Волгоградский государственный университет  
tyuhtyaev.dmitriy@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Евгений Сергеевич Семенов**

Кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой телекоммуникационных систем,  
Волгоградский государственный университет  
semenov.evgeniy@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** Существует множество различных методов и способов измерений, благодаря которым анализируются цифровые модели системы на предмет помехоустойчивости, искажений, защищенности, универсальности, экономичности и точности. Понятие «универсальности» носит общий характер и применительно к любому цифровому сигналу; понятие «экономичность» – эффективное использование пропускной способности, ресурсов оборудования и сети; требование «точности» носит ключевой характер при построении и передачи информации по сети связи. Различные характеристики канала передачи – ширина полосы пропускания, уровни передачи, динамический диапазон, диаграмма уровней, амплитудно-частотная характеристика, фазо-частотная характеристика, частота ошибок за определенный интервал времени дают представление о состоянии канала, тракта, оборудования. По их анализу можно легко устранить или улучшить ту составную часть канала связи. В статье представлены и исследованы востребованные инструменты для оценки качества переданной информации по цифровому каналу связи. Была использована программная среда MATLAB Simulink, смоделирован канал цифровой связи с применением QPSK-модуляции, которая активно эксплуатируется в спутниковом вещании, при потоковой передаче спутниковых каналов SD и некоторых каналов HD, работает на высоких скоростях передачи, тем самым является одной из популярных в настоящее время. Проведен эксперимент передачи

сигнала по каналу связи, осуществлена оценка принятого сигнала различными способами на предмет помехоустойчивости и искажения.

**Ключевые слова:** сигнал, схема, канал связи, анализ данных, модуляция, глазковая диаграмма, сигнальное созвездие, коэффициент битовых ошибок, искажения, помехи.

В электронно-вычислительной среде анализ методов оценки качества сигнала можно осуществить посредством глазковой диаграммы, сигнального созвездия (карты рассеяния), применением блоков подсчета коэффициента битовых ошибок переданных данных [3]. Данные методы являются эффективными в настоящее время, и широко применяются как в проводных, так и беспроводных системах связи.

В рекомендациях МСЭ-Т G.821, G.826 описаны методы обнаружения ошибок кода передачи для оценки качества сеанса связи в цифровом тракте, метод циклового синхросигнала в цикле сигнала Е1 (имеет недостаточную точность), метод циклического контроля по избыточности и др., метод контроля первичных статических характеристики каналов тональной частоты (дрожание фазы, АЧХ и т. д.) и другие.

В ходе исследования были проанализированы несколько методов оценки качества передаваемого сигнала. Для этого была построена цифровая система передачи на основе QPSK-модуляции в программной среде Simulink Matlab (рис. 1).

QPSK-модуляция (Quadrature Phase Shift Keying – кодирование методом квадратично-

го фазового сдвига) является простейшей формой QAM (также известная как 4-QAM). QPSK использует две несущие одинаковой частоты, сдвинутые на  $90^\circ$ , и два возможных уровня амплитуды. Один уровень амплитуды соответствует 0, другой – 1. Достоинством QAM модуляции является повышенная скорость передачи данных, поскольку таким образом большее количество битов информации может быть передано в течение одного цикла. Однако, с другой стороны, в этом случае большее число уровней амплитуды сигнала располагаются близко друг к другу, повышая тем самым вероятность неразличимости двух уровней, и как следствие – повышая чувствительность системы к шуму. Таким образом, высокие значения номера QAM более требовательны к параметру CNR (Carrier Noise Ratio – отношение сигнал / шум). Данный параметр является важнейшим фактором, определяющим качество работы различной радиотехнической аппаратуры. Например, в сетях кабельного телевидения – одна из доступных измеряемых величин.

Оценка воздействия шумов на сигналы возможно несколькими способами. Визуальную оценку по полученным параметрам мож-

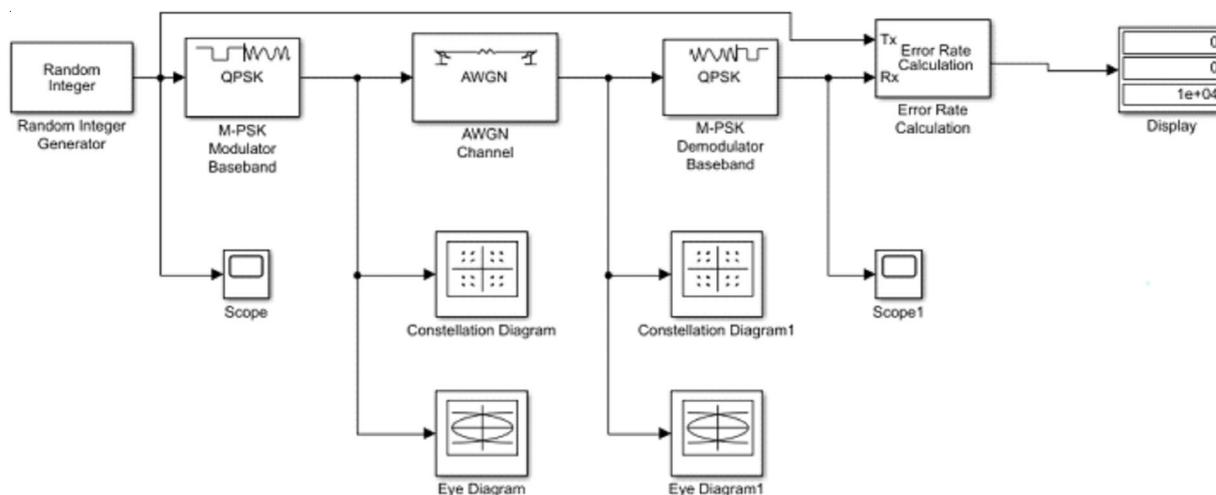


Рис. 1. Схема передачи данных посредством QPSK-манипуляции (экранный снимок)

но получить с использованием сигнального созвездия – в данном случае на амплитудно-фазовой плоскости отдельному элементу созвездия соответствует точка. По карте созвездия можно оценить качество канала связи – показывает положением символов на комплексной плоскости только в момент принятия решения о принятом символе. При при-

сутствии каких-либо помех карта рассеяния начинает приобретать «расплывчатость», тем самым мы говорим о влиянии белого шума на сигнал (сравнение рис. 2 и рис. 3) [4]. Последовательно изменяя в параметрах блока AWGN Channel отношение сигнал / шум (начиная с 50 Дб до 5 Дб) наблюдается изменение форм глазковой диаграммы и сигнального

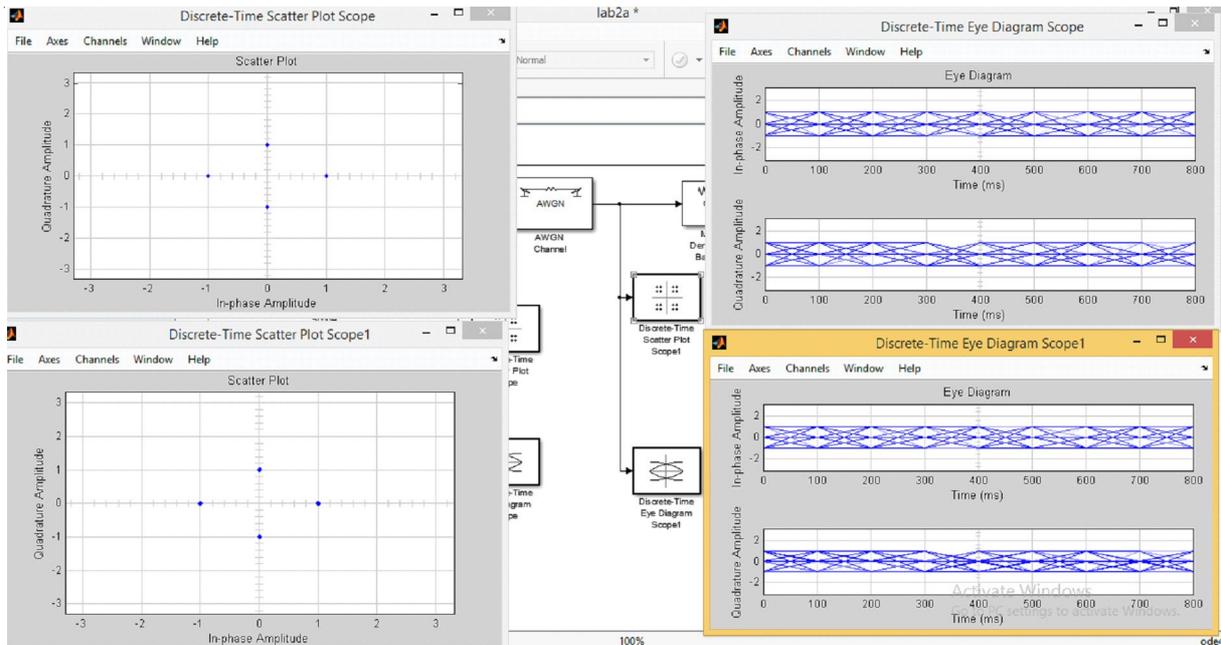


Рис. 2. Созвездие и глазковая диаграмма сигнала при отношении сигнал / шум 50 dB

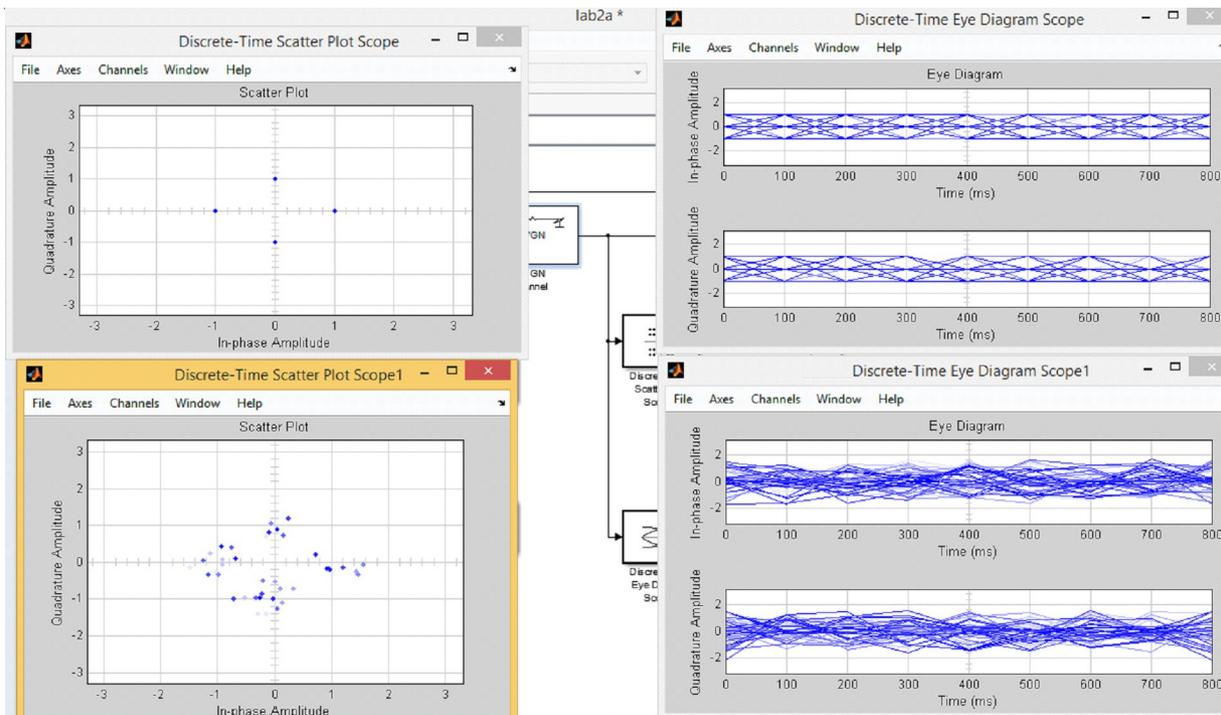


Рис. 3. Созвездие и глазковая диаграмма сигнала при отношении сигнал / шум 5 dB

созвездия QPSK. При настройке блока AWGN channel в 50 дБ графики сигнальных созвездий и глазковых диаграмм QPSK-манипуляции выглядят следующим образом (см. рис. 2).

При настройке блока AWGN channel в 5 дБ графики сигнальных созвездий и глазковых диаграмм QPSK-манипуляции выглядят следующим образом (см. рис. 3).

При уменьшении отношения сигнал / шум с 50 до 5 дБ возникает больше помех, это видно по закрытию глаза на диаграммах глаз. В MATLAB определена функция глазковой диаграммы `eyediagram(x,n)` [1]. Интерпретация глазковой диаграммы следующая: осциллограф формирует диаграмму из развертки последовательных сегментов длинного потока данных, главным источником которого является синхронизация. Происходит отображение импульсов, которые появляются после периода задержки и накладываются друг на друга, тем самым получается изображение в виде «открывания глаза». При искажении или зашумленности глаз «закрывается». При передаче в высокоскоростных цифровых каналах искажения, вносимые на различных этапах, приводят к ошибкам синхронизации. Одной из таких ошибок является «джиттер» (*jitter*) – фазовое дрожание, которое возникает из-за несовпадения времени нарастания и спада (см. рис. 3).

Точным вычислением отличается следующий метод – подсчет коэффициента битовых ошибок BER (bit error rate – отношение бит / ошибка) при CNR (Carrier Noise Ratio – отношение сигнал / шум). Данный метод применяется для оценки качества цифровых систем передач, является самым объективным, используется при технических осмотрах цифровой аппаратуры, выходе ее из строя. Показатель выражается в дБ. В ходе исследования были получены следующие результаты BER (см. таблицу).

Представим полученные результаты работы блока Error Rate Calculation в графическом виде Excel с помощью диаграммы (рис. 4).

Таблица и график наглядно показывают, что, чем меньше отношение сигнал / шум в блоке AWGN Channel, тем больше уровень ошибки.

Еще одна технология измерения соотношения сигнал / шум – NPR (Noise Power Ratio – отношение шум / мощность) – применяется в аналоговых устройствах, которые работают в режимах QAM или QPSK. Поскольку эти режимы имеют частотный спектр в виде гауссового шума, NPR-тест производится путем подмены сигнала эквивалентной полосой белого шума. Ближе к середине полосы эта шумовая «зарубка» (обычно 4 МГц)

**Значения BER при изменении CNR для QPSK-модуляции**

CNR, Дб	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
BER, Дб	1	11	51	115	197	302	375	445	524	573

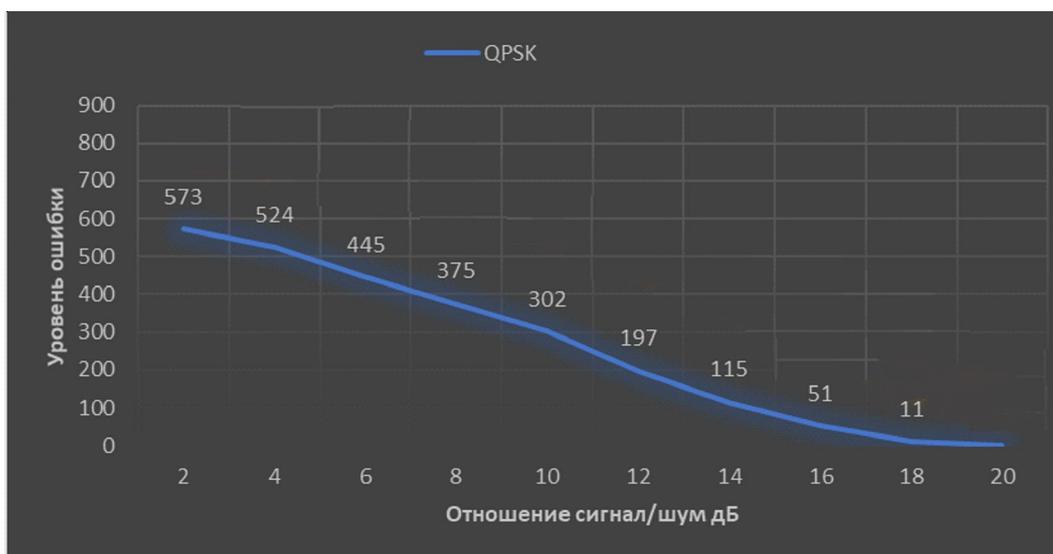


Рис. 4. График отношения CNR к BER при QPSK

опускается. Когда полоса шума пускается через устройство, глубина «зарубки» определяется несколькими факторами: термическим шумом, «шумоподобными продуктами» сигнала и т. п.

Технология FEC (Forward Error Correction – упреждающая коррекция ошибок) – передатчик преобразует передаваемые блоки данных путем канального кодирования и избыточности информации, тем самым предотвращает возможность обнаружения и восстановления приемником определенного количества битов, подвергающихся искажению. Технология является сложной и требует больших затрат мощности процессора для исправления ошибок [2].

Технология MER (Modulation Error Ratio – отношение модуляция / ошибка), определяющая исходный искаженный радиосигнал по конкретным параметрам. Их значения усредняются по времени – это величина отклонения полученной модуляции (по амплитуде и/или фазе) от переданной.

Наличие множества помех требует выполнения моделирования передачи сигналов по каналам связи, чтобы оценить вероятности ошибок в них. Механизмы генерации ошибок определяются принципами обработки смешанного сигнала с помехами, а также характеристиками устройств, реализующих эти принципы. В ходе работы были рассмотрены популярные методы оценки принятого сигнала путем представления сигнала с применением QPSK-модуляции, проведены эксперименты. Данные методы оценки принятых сигналов применяются также в различных цифровых системах связи более высоких порядков, активно используются и в настоящее время.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акчурин, Э. А. Программирование в системе MATLAB. Разработка программ для ЦОС : конспект лекций / Э. А. Акчурин. – Самара : ПГУТИ, 2012. – 111 с.
2. Колготин, П. В. Оценка параметров каналов и развитие измерительных технологий в сетях связи специального назначения / П. В. Колготин // Молодой ученый. – 2011. – Т. 1, № 10 (33). – С. 34–39.
3. Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей : учебник / Н. Н. Васин [и др.]. – Самара : ПГУТИ, 2017. – 222 с.
4. Семенов, Е. С. Основы построения инфокоммуникационных систем : учеб.-метод. пособие / Е. С. Семенов, Н. Н. Ермакова. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2020. – 54 с.

## REFERENCES

1. Akchurin E.A. *Programmirovaniye v sisteme MATLAB. Razrabotka programm dlja COS: konspekt lekcij* [Programming in the MATLAB System. Development of Programs for DSP: Lecture Summary]. Samara, PGUTI, 2012. 111 p.
2. Kolgotin P.V. *Ocenka parametrov kanalov i razvitie izmeritelnyh tehnologij v setjah svyazi specialnogo naznachenija* [Evaluation of Channel Parameters and Development of Measuring Technologies in Special-Purpose Communication Networks]. *Molodoj uchenyj* [Young Scientist], 2011, no. 10 (33), iss. 1, pp. 34-39.
3. Vasin N.N., Vostrikova V.A., Diyazitdinov R.R., et al. *Osnovy postroeniya infokommunikacionnyh sistem i setej: uchebnyy* [Basics of Building Infocommunication Systems and Networks: Textbook]. Samara, PGUTI, 2017. 222 p.
4. Semenov E.S., Ermakova N.N. *Osnovy postroeniya infokommunikacionnyh sistem: ucheb.-metod. posobie* [Basics of Building Infocommunication Systems. Teaching Manual]. Volgograd, Izd-vo VolGU, 2020. 54 p.

## INVESTIGATION OF METHODS OF EVALUATING QUALITY OF TRANSMITTED SIGNAL IN COMMUNICATION CHANNEL

**Nadezhda N. Ermakova**

Postgraduate Student, Department of Telecommunications Systems,  
Volgograd State University  
ermakova.nadezhda@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Dmitry A. Tyukhtyaev**

Senior Lecturer, Department of Telecommunications Systems,  
Volgograd State University  
tyukhtyaev.dmitriy@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Evgeniy S. Semenov**

Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor,  
Head of the Department of Telecommunications Systems,  
Volgograd State University  
semenov.evgeniy@volsu.ru  
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** There are many different measurement methods and methods, thanks to which digital models of the system are analyzed for noise immunity, distortion, security, versatility, cost-effectiveness and accuracy. The concept of “universality” is general in nature and applied to any digital signal, the concept of “cost-effectiveness” is the efficient use of bandwidth, equipment and network resources. “Accuracy” is the key requirement in the construction and transmission of information over a communication network. Various characteristics of the transmission channel - bandwidth, transmission levels, dynamic range, level diagram, amplitude-frequency response, phase-frequency response, the error rate for a certain time interval give an idea of the state of the channel, path, and equipment. According to their analysis, it is easy to eliminate or improve that component of the communication channel. The article presents and investigates popular tools for assessing the quality of transmitted information over a digital communication channel. The MATLAB Simulink software environment was used, a digital communication channel was modeled using QPSK modulation. The MATLAB Simulink software environment was used, a digital communication channel was modeled using QPSK modulation. This modulation is actively used in satellite broadcasting, when streaming satellite channels SD and some HD channels, works at high transmission speeds, thereby being one of their most popular at the moment. An experiment of signal transmission over a communication channel was carried out; the received signal was evaluated in various ways for noise immunity and distortion.

**Key words:** signal, circuit, communication channel, data analysis, modulation, eye diagram, signal constellation, bit error coefficient, distortion, interference.