

УДК 621.396

## Особенности передачи сообщений в системах связи

Т.В. Аветисян<sup>1</sup>, К.А. Минаев<sup>2</sup>, А.П. Преображенский<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

В данной работе рассматриваются некоторые характеристики систем, связанных с процессами передачи дискретных сообщений. Приведена модель, которая их описывает. Рассмотрены случаи канала без помех в присутствии аддитивного гауссова шума, неопределенной фазы сигнала, а также аддитивного гауссова шума, с учетом замираний. Проведен анализ особенностей распространения коротковолновых сигналов в ионосфере.

Ключевые слова: распространение радиоволн, система связи, передача информации, канал связи, помеха.

## The features of message transmission in communication systems

T.V. Avetisyan<sup>1</sup>, K.A. Minaev<sup>2</sup>, A.P. Preobrazhenskiy<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>College of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

This paper discusses some characteristics of systems associated with the processes of discrete message transmission. A model that describes them is given. The cases of a channel without interference, in the presence of additive Gaussian noise, an indeterminate phase of the signal, as well as additive Gaussian noise, taking into account fading, is considered. An analysis of the peculiarities of the propagation of short-wave signals in the ionosphere is given.

Keywords: propagation of radio waves, communication system, information transmission, communication channel, interference.

При формировании систем, предназначенных для того, чтобы передавать дискретные сообщения, необходимо ориентироваться на использование сложных технических комплексов. Они создаются на базе разных элементов, которые связаны функциональным образом. На рисунке 1 можно увидеть общую блок-схему, которая соответствует таким системам [1, 2].

В таких системах происходит генерация дискретных сообщений  $a$  при помощи источника. Источник генерирует дискретные сообщения. Эти сообщения  $a$  будут преобразовываться при помощи передатчика в радиосигналы  $s(t)$ , которые являются непрерывными и будут идти в канал [3, 4].

Когда рассматривается канал передачи, то подразумевается использование физической среды, на основе которой сигналы будут передаваться от передающих устройств к приемникам. Действие канала на сигнал  $s(t)$ , можно описать при помощи функционального отображения  $x(t) = F(s(t))$ . При этом можно учесть влияние различных помех  $n(t)$ . Они могут быть аддитивными и мультипликативными.

Обработка реализации  $x(t)$  осуществляется в приемном устройстве, с точки зрения рассмотрения критерия качества, по анализируемому сообщению  $\hat{a}$ , если соотносить с переданным сообщением  $a$ .

Пусть используется генератор дискретных последовательностей. На его базе происходит формирование модели источника сообщений. Тогда можно осуществить

формирование схемы, на основе которой передается информация (рис. 2). Рассмотрим особенности компонентов, которые в нее входят [5, 6].

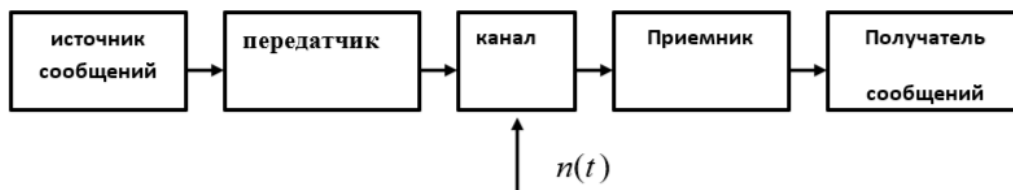


Рисунок 1. Иллюстрация модели, описывающей систему, в рамках которой передаются дискретные сообщения

Пусть сообщение, которое есть в системе и которое подлежит передаче, характеризуется длительностью  $k$  символов. Его обозначают таким образом:  $a_m (m \in (0, J - 1))$ . Сообщение, которое будет кодироваться, обозначается как  $b_m$ . Передаваемый сигнал, который распространяется внутри системы связи, будет обозначаться в виде  $s_m(t)$ . Тогда  $J = q^k$ ,  $q$  – рассматривается в качестве объема, относящемуся к алфавиту данных. Множество, которое сформировано на основе  $J$  сообщений  $a_m$ , будет отображаться на множество, которое сформировано на основе  $J$  сигналов  $s_m(t)$  при помощи кодера и модулятора. Работа кодера и модулятора может представляться в виде совокупности отдельных операций с учетом того, что процессы рассматриваются на основе дискретного и непрерывного времени.

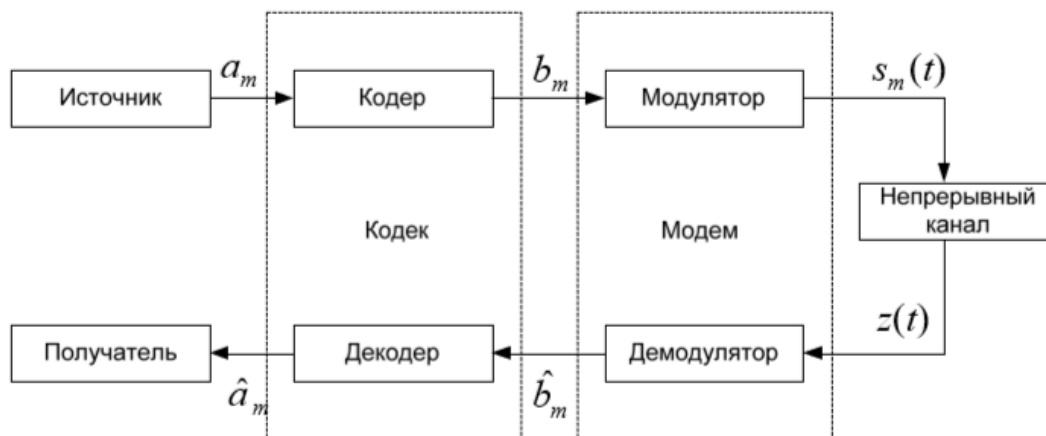


Рисунок 2. Структурная схема системы, связанной с процессами передачи сообщений

Применяется ортогонализация Грама-Шмидта, при описании того, как будут объединяться кодер и декодер. При математическом описании сформированной системы можно рассматривать разные  $J$  функций времени, которые имеют конечную энергию, на основе линейной комбинации  $N \leq J$  базисных функций, являющимися ортонормированными [7, 8].

Тогда для конечного интервала  $0 \leq t \leq T$  в ходе рассмотрения  $J$  сигналов, которые имеют конечную энергию  $s_0(t), s_1(t) \dots s_{J-1}(t)$ , сформированные на основе некоторых  $J$  сообщений  $a_0, a_1, \dots, a_{M-1}$ , можно сигнал представить так  $s_m(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_{mn} \phi_n(t), m = 0, 1, \dots, J - 1, s_{mn} = \int_0^T s_m(t) \phi_n(t) dt$ .

При этом  $\phi_n(t)$  – являются базисными ортонормальными функциями

$$\int_0^T \phi_k(t) \phi_j(t) dt = \begin{cases} 1, & k = j \\ 0, & k \neq j \end{cases}$$

На основе N-мерного евклидового пространства вектора может быть использовано представление  $s_m = (s_{m1}, s_{m1}, \dots, s_{mN})$  для сигналов. При этом применяется подход, который базируется на том, что ведется ортогонализация. Ансамбль рассматривается в виде множества векторов сигналов.

Линейные коды применяются для того, чтобы происходили процессы, которые основываются на отображении информационных блоков  $a_m$  в сигналы  $s_m(t)$ .

Будет происходить выполнение условия  $L > N$ , если используется квадратурно-амплитудная модуляция для соответствующих подходов в модуляции, когда применяются двоичные коды и дискретные сигналы.

Если множество тех сигналов  $s_m(t)$ , которые передаются, будут отображаться в случайный процесс  $z(t)$ , который принимается пользователем, то тогда говорят о применении непрерывного сигнала. Искажения будут воздействовать на сигнал перед тем, как он будет воздействовать на вход демодулятора.

В искажениях можно отметить наличие аддитивного шума, межсимвольной интерференции. В искажениях может быть нелинейность. Кроме того, можно наблюдать межсимвольную интерференцию и многолучевое распространение. На основе демодулятора и декодера принятые процессы будут отображаться в  $\widehat{a}_k$  с учетом того, какое будет исходное сообщение.

В ряде случаев, при передаче дискретных сообщений, реализация процессов, основанных на демодуляции и декодировании происходит при помощи одного устройства. В таких случаях будет происходить преобразование в последовательность символов сообщений  $\widehat{a}_k$  на основе последовательности компонентов в сигнале  $z(t)$ .

Рассмотрим особенности моделей, которые формируются для каналов связи. Если рассматривать реальные каналы, то для них требуется достаточно сложное математическое описание. В ряде случаев можно применять упрощенные подходы. На их основе есть возможности для определения всех основных характеристик в таких каналах [9, 10].

Рассмотрим особенности тех моделей, которые достаточно частым образом применяются на практике.

**Случай передачи информации в идеальном канале без помех.** В ходе описания канал рассматривается как линейная цепь, для которой применяется постоянная передаточная функция. Если осуществлять анализ подобного канала, тогда при входном сигнале  $s_m(t)$  будем иметь выходную реализацию  $z(t)$ :

$$z(t) = K \cdot s_m(t - \tau), \quad (1)$$

где  $K$  – постоянный коэффициент передачи, который соответствует каналу,  $\tau$  – значение постоянной задержки.

На практике такая модель может быть полезна, если требуется рассматривать характеристики, относящиеся к кабельным каналам.

**Случай применения канала с аддитивным гауссовым шумом.** Тогда на выходе подобного канала можно определить сигнал таким образом

$$z(t) = K \cdot s_m(t - \tau) + n(t). \quad (2)$$

В формуле (2)  $n(t)$  является значение гауссовского аддитивного шума, для которого существует нулевое математическое ожидание.

В тех случаях, когда коэффициенты передачи и запаздывания можно представить в виде известных функций времени, выражение (1) представляется таким образом:

$$z(t) = K(t) \cdot s_m(t - \tau(t)) + n(t). \quad (3)$$

С привлечением такой модели есть возможности для описания проводных каналов, радиоканалов, если анализируется связь с учетом прямой видимости. При этом учитываются особенности радиоканалов, в которых существуют медленные общие замирания.

**Случай использования канала с неопределенной фазой сигнала и аддитивным гауссовым шумом.** В подобной модели значение запаздывания будет рассматриваться как случайная величина. В таком случае есть возможность для того, чтобы для выхода канала осуществить представление узкополосного сигнала следующим образом:

$$z(t) = K \cdot [\cos(\theta) \cdot s_m(t) - \sin(\theta) \widehat{s}_m(t)] + n(t), \quad (4)$$

при этом  $\widehat{s}_m(t)$  является преобразованием Гильберта от  $s_m(t)$ ,  $\theta = 2\pi t$  – рассматривается в виде случайной фазы.

Исходим из того, что задано распределение  $\theta$ . Например, для него может быть равномерное распределение  $\theta \in [0, 2\pi]$ .

Ослабление электромагнитных полей наблюдается при процессах распространения радиоволн для линий передач. Такие процессы происходят вследствие того, что для сигналов на входе приемных устройств будут наблюдаться эффекты флуктуации, рассеяния, а также поглощения.

Если распространение происходит через ионосферу и тропосферу, то, в результате нагрева, возникает эффект поглощения.

Любые частицы можно рассматривать в виде вторичных излучателей на пути распространения электромагнитных волн. Они будут рассеивать энергию по всем направлениям. При этом в точках, где ведется наблюдение, будет происходить уменьшение напряженности поля. Тогда по направлению приема наблюдается ослабление поля вследствие рассеяния.

Если используются передающие и приемные антенны, в которых применяется линейная поляризация, тогда для радиоволн будут вариации по поляризации, поэтому будут возникать замирания. Они также связаны с тем, что происходит рассеяние, затенение, а также поглощение.

В системах наблюдается многолучевое распространение, что ведет к интерференционным эффектам. В итоге будут наблюдаться мелкомасштабные замирания, возникающие вследствие небольших изменений в расстояниях между приемными устройствами и передатчиками.

Изменение в огибающей и фазе сигнала  $z(t)$  связано с частотно-селективными замираниями. Будет наблюдаться постоянство в спектральных составляющих с учетом того, что наблюдение будет внутри интервала стационарности канала  $T_{cm}$ .

**Случай гауссовского однолучевого канала с общими замираниями.** В таких случаях в выражении (4) исходим из того, что коэффициенты  $K$  и  $\theta$  рассматриваются в виде случайных процессов. При этом для  $K$  можно рассматривать обобщенное рэлеевское или рэлеевское распределение. Для того, чтобы определить значение узкополосного сигнала на выходе такого канала, можно использовать выражение

$$z(t) = K(t) \cdot [\cos(\theta(t)) \cdot s_m(t) - \sin(\theta(t)) \widehat{s}_m(t)] + n(t). \quad (5)$$

Когда рассматриваются случайные линии передач, можно считать импульсные характеристики  $h(\tau, t)$  в виде стохастических процессов. На их основе осуществляется соответствующая связь между входными и выходными сигналами. Для того, чтобы обеспечить их описание достаточно полным образом, важно иметь информацию о том, какие здесь действуют многомерные законы распределения с учетом соответствующих выборочных значений. Если рассматривать решение задачи с точки зрения общего подхода, то в ходе решения можно столкнуться с достаточно серьезными проблемами.

С другой стороны, при рассмотрении некоторых задач нет необходимости в том, чтобы иметь информацию по полной статистике. Требуется только знать вид автокорреляционных функций  $h(\tau, t)$ .

Анализ показывает, что можно достаточно большое число каналов, по которым осуществляется передача информации, рассматривать как гауссовские. В таких случаях выводы относительно полной статистики могут быть сделаны на основе информации о формировании автокорреляционных функций. То есть, существуют возможности для того, чтобы осуществлять классификацию по линиям передачи с точки зрения вида автокорреляционных функций  $h(f, t)$  и  $K(f, t)$ .

Для моделей линий передач, если их рассматривать с точки зрения вида автокорреляционных функций, можно указать следующее:

1. Использование стационарных линий, в которых есть коррелированные отражатели;
2. Использование нестационарных линий, в которых есть некоррелированные отражатели;
3. Использование стационарных линий, в которых есть некоррелированные отражатели;
4. Использование нестационарных линий, в которых есть коррелированные отражатели.

Если рассматриваются многолучевые каналы, в которых происходит распространение коротких волн, то для них можно рассматривать эффекты многолучевости. В верхнем слое атмосферы будут возникать эффекты ионизации вследствие воздействия солнечной радиации.

В таких случаях этот слой рассматривается в виде сильным образом разреженного газа. Внутри него можно наблюдать наличие молекул, ионов и свободных электронов. Можно наблюдать увеличение числа ионов, а также свободных электронов, когда происходит рост уровня солнечной радиации. Поэтому можно говорить об увеличении электрической проводимости газа.

Свободные электроны и ионы будут воссоединяться в молекулы. Это ведет уменьшению проводимости, когда происходит падение радиации. Со свободными электронами будет наблюдаться взаимодействие радиоволны, которая падает на ионосферу. В этой связи можно наблюдать процессы ее частичного или полного отражения, а также преломления [11].

Для различных вариантов можно наблюдать процессы, связанные с поглощением. При этом для радиоволн определенная часть энергии будет теряться. Нахождение радиоволн будут оказывать влияние различные физические процессы, которые связаны с применяемыми частотами, а также характеристиками электропроводимости ионосферы.

В случае отражения коротких волн от ионосферного слоя, с учетом малых потерь, есть возможности для того, чтобы поддерживать их распространение на большие расстояния. Это достигается на основе отражений от земной поверхности и ионосферного слоя.



Время суток, времена года, характеристики солнечной активности и особенности ионосферы оказывают влияние на свойства и качества отраженных волн. Например, по низкочастотным диапазонам будет наблюдаться лучшее распространение во время дневных часов. По высокочастотным диапазонам будет лучшее распространение в ночное время.

Использование разнесенного приема позволяет обеспечить рост в помехоустойчивости при рассмотрении радиоканалов, имеющих замирания. Разнесение может быть обеспечено различными способами: с учетом временных характеристик, с учетом частотных характеристик, с учетом углов прихода, с учетом характеристик пространства, с учетом поляризационного разнесения.

Таким образом, в работе рассмотрена функциональная модель, связанная с передачей дискретных сообщений. В качестве компонентов в такой схеме можно указать получатель и источник сообщений, декодер и кодер в источнике сообщений, кодер в канале, модулятор и демодулятор, которые обрабатывают сигналы, приемник. Рассмотрены воздействия различных помех на сигнал в канале передачи. Проведен анализ особенностей приема сигналов для коротковолнового диапазона.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Унгер А.Ю. Анализ возможностей пассивной радиолокации при работе в диапазоне ультракоротких волн / А.Ю. Унгер // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 2.
2. Троценко А.С. Высокоуровневая структура модулей для построения специальных систем автоматизированного проектирования / А.С. Троценко, А.А. Успехов, М.И. Чижов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 3.
3. Яуров С.В. Математическое моделирование сложных технологических систем методом конечных элементов / С.В. Яуров, А.Д. Данилов, К.Ю. Гусев, И.Н. Гусев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 3.
4. Шукин А.А. Проведение численных экспериментов для оценки характеристик обнаружения на математической модели радиолокационной станции / А.А. Шукин, А.Е. Павлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 1.
5. Бокова О.И. Формирование требований к защищенной информационно-телекоммуникационной инфраструктуре сети связи специального назначения / О.И. Бокова, С.В. Канавин, Н.С. Хохлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 1.
6. Преображенский Ю.П. Рассеяние радиоволн на сложных объектах / Ю.П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 8-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / ответственный редактор А.А. Горохов. – Курск, 2018. – С. 191-194.
7. Львович Я.Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи / Я.Е. Львович, Ю.П. Преображенский, Е. Ружицкий // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – № 1 (40). – С. 68-71.
8. Львович Я.Е. Исследование характеристик защищенности мобильных сенсорных сетей / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, Ю.П. Преображенский, О.Н. Чопоров // Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова. В 6-ти томах. – Воронеж, 2019. – Т. 2. – С. 239-244.

9. Преображенский Ю.П. Анализ некоторых характеристик спутниковых систем связи / Ю.П. Преображенский, Т.В. Аветисян, Е. Ружицкий // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – № 1 (40). – С. 82-85.

10. Петрович Н.Т. Относительные методы передачи информации / Н.Т. Петрович. – М: Книга-М, 2003. – 108 с.

11. Брекоткина Е.С. Информационная поддержка управления уязвимостью сложных распределенных систем на основе обработки пространственной информации / Е.С. Брекоткина, М.Б. Гузаиров, С.В. Павлов, А.С. Павлов, О.И. Христовуло // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 2.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Аветисян Татьяна Владимировна**, преподаватель, Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [vtatyana\\_avetisyan@mail.ru](mailto:vtatyana_avetisyan@mail.ru)

**Минаев Кирилл Андреевич**, студент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [minaykirill234@yandex.ru](mailto:minaykirill234@yandex.ru)

**Преображенский Андрей Петрович**, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [app@vvt.ru](mailto:app@vvt.ru)