

# Программный комплекс оценки параметров метеорного канала по записям сигналов

Е. Д. Машкова<sup>1</sup>, С. В. Завьялов<sup>2</sup>, С. В. Волвенко<sup>3</sup>

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>1</sup>mashkovaed@yandex.ru, <sup>2</sup>zavyalov\_sv@spbstu.ru, <sup>3</sup>volk@cee.spbstu.ru

**Аннотация.** В области телекоммуникаций задача оценки неизвестных параметров канала передачи и сигналов на фоне аддитивного гауссовского белого шума актуальна при работе с радиосигналами, распространяющимися в неустойчивых каналах. Одним из таких каналов в силу своей прерывистости является метеорный канал радиосвязи. В такой системе принцип передачи основан на отражении радиосигналов от метеорных следов, которые могут эффективно использоваться, если имеют достаточную концентрацию электронов. Из-за прерывистой природы метеорного канала существуют интервалы времени, когда передача информации невозможна. Таким образом, представляет интерес разработка программного комплекса, позволяющего получать оценку параметров метеорного канала по записям сигналов с целью оперативного выбора эффективного размера пакета данных.

**Ключевые слова:** метеорная система связи; метеорный канал передачи; оценка параметров; эффективная длительность метеорного следа

## I. ВВЕДЕНИЕ

Метеорная радиосвязь находит активное развитие в последнее время. Данный вид радиосвязи имеет особенности, связанные с прерывистой природой появления метеоров в атмосфере Земли. Попадая в земную атмосферу на скорости в несколько десятков километров в секунду, метеорные частицы сталкиваются с атомами воздуха. При этом метеор нагревается, и испаряющиеся метеорные атомы в результате термоионизации оставляют за собой след ионизированного газа. Это происходит на высотах от 70 до 120 км [1]. Размеры появившегося ионизированного следа зависят от массы и скорости метеора. Длина следа может составлять десятки километров. Возможный радиус – около метра, и со временем он увеличивается из-за диффузии.

Ионизированные следы метеоров при достаточной степени ионизации способны отражать радиоволны. Вопросы оценки параметров метеорного канала связаны с вопросами повышения эффективности всей системы передачи в целом. Для статистических оценок параметров метеорного канала необходимо учитывать его прерывистость и ряд случайных параметров, которые определяются географическим расположением, временем года и суток и т. д. [2]. Для наиболее эффективной передачи информации возможна реализация идеи адаптивной настройки используемой аппаратуры в виде некоторого программного комплекса.

В Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого проводятся работы по созданию прототипов и экспериментальных образцов оборудования для организации распределенной сети метеорной радиосвязи. В ближайшее время планируется проведение масштабных трассовых испытаний. Разработка программного комплекса оценки параметров метеорного канала по записям принятых сигналов позволит повысить эффективность разрабатываемой системы.

В настоящей работе рассматривается моделирование системы, позволяющей оценивать параметры метеорного канала (среднее значение постоянной затухания метеорного следа и его среднюю эффективную длительность) с целью последующей реализации соответствующего адаптивного изменения параметров системы передачи-приёма для максимизации вероятности доставки.

## II. ОПИСАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Имитационной модель разработана в программном пакете Matlab, соответствующая блок-схема приведена на рис. 1. Изначально устанавливаются параметры моделирования, например, несущая частота, частота дискретизации, размер и число передаваемых пакетов. На основании заданных параметров формируется пакет случайных информационных бит, далее выполняется модуляция. Полученный сигнал подлежит дальнейшей передаче по каналу связи.

Наличие энергетического детектора на приёме необходимо для однозначного детектирования наличия или отсутствия сигнала. Сигнал может быть обнаружен путём сравнения измеряемого уровня пришедшего сигнала с пороговым значением, которое в случае канала с АБГШ определяется в соответствии с предполагаемой дисперсией шума.

При работе с метеорным каналом с течением времени амплитуда отражённого от него радиосигнала изменяется в соответствии с непрерывной функцией экспоненты на протяжении всей длительности существования следа:

$$A = A_0 \exp[-(T / \tau)].$$

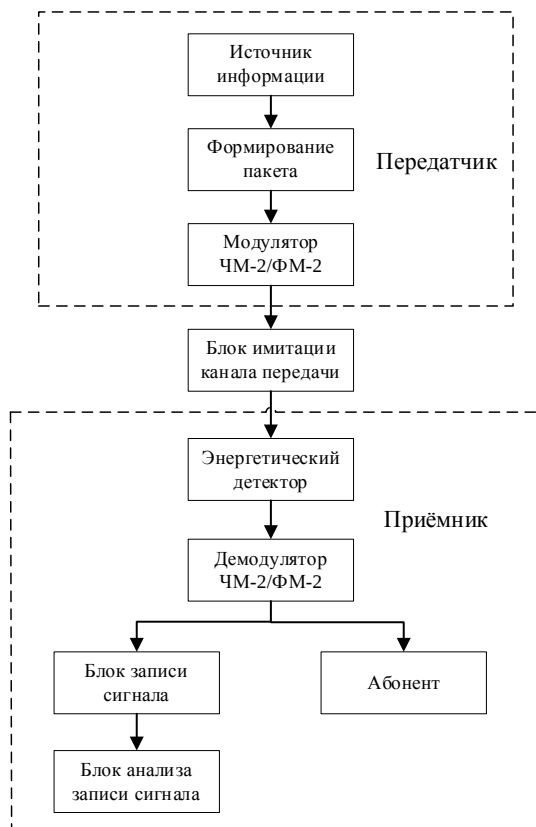


Рис. 1. Алгоритм, используемый при моделировании передачи сигнала

Здесь  $T$  – время, прошедшее с момента образования следа,  $A_0$  – амплитуда сигнала в момент появления метеорного следа  $T=0$  (начальная амплитуда, максимальная амплитуда),  $\tau$  – характерное время затухания (постоянная затухания) [2–5].

Данное уравнение служит для получения амплитудных значений используемого следа. Экспериментально подобранный исходя из заданной при моделировании длительности следа параметр  $\tau_0$  остаётся приблизительно одинаковым для различных передаваемых сигналов для фиксированной пары передатчик-приёмник.

Далее осуществляется передача сформированного сигнала через метеорный канал и его получение на приёмной стороне. Пока метеорный след позволяет передавать пакеты данных, идёт формирование массива принятых данных. При этом в соответствующем блоке происходит запись отсчётов принятого сигнала. Так как данное исследование ставит своей целью получение оценок параметров метеорного канала и их точности, то рассматривается моделирование метеорного следа с фиксированными параметрами. После записи его амплитудных значений имеем сигнал с высокочастотным заполнением, огибающая которого повторяет закон изменения амплитуды метеорного следа. При выделении огибающей принятого сигнала рассматривается два алгоритма её построения:

- по локальным максимумам и минимумам с определением числа промежуточных отсчётов, разделяющих рассматриваемые пики;
- по среднеквадратичным значениям, определяемым с помощью скользящего окна заданной длины.

Для определения на приёмнике величины  $\tau$ , использованной при передаче следа, в блоке анализа записи сигнала реализовано построение функции метеорного канала для возможных значений постоянной затухания. Далее происходит расчёт среднеквадратического отклонения (СКО) огибающей принятого сигнала и сформированного в приёмнике теоретического метеорного следа. Логично предположить, что вблизи реального значения  $\tau_0$  график зависимости СКО от  $\tau$  будет иметь точку минимума.

Так как начальная амплитуда текущего метеорного следа предполагается известной, то, получив оценку постоянной затухания, возможно рассчитать его эффективную длительность. В дальнейших исследованиях подразумевается добавление функционирования энергетического детектора на передатчике для фиксирования появления метеорного следа и определения его начальной амплитуды, в данной работе предполагается идеальным определение момента появления метеорного следа.

Для набора статистики реализовано два способа:

- при усреднении реализаций сигнала, проходящего через метеорный канал;
- при усреднении получаемой оценки постоянной затухания.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование основано на создании метеорного следа предполагаемой длительности примерно 0.5 с. С помощью аналитической формулы при знании максимальной амплитуды экспериментально подобрана постоянная времени затухания следа  $\tau_0 = 0.06$  с, которая будет использоваться для подсчёта СКО на приёмной стороне. При данном значении  $\tau_0$  точная величина длительности составляет 0.55 с.

Рассмотрим получение оценки постоянной затухания используемого метеорного следа. На рис. 2 и 3 приведены графики СКО отсчётов огибающей и теоретического следа в зависимости от заданной постоянной затухания. Из них видно, что в случае усреднения реализаций сигнала (рис. 2), проходящего через метеорный канал, не представляется возможным говорить об оценке  $\tau$ , так как нет критерия минимизации СКО, позволяющего сделать выбор. В случае усреднения получаемой оценки постоянной затухания (рис. 3) график действительно имеет минимум. Определив соответствующее значение  $\tau$ , можно рассчитать экспериментальное значение эффективной длительности следа и его отклонение от действительной величины.

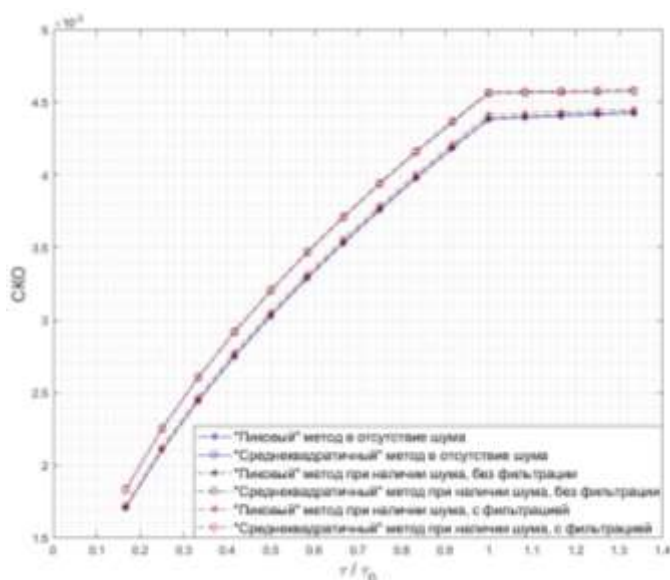


Рис. 2. Зависимость СКО от нормированной на  $\tau_0$  постоянной затухания  $\tau$  при усреднении реализаций сигнала

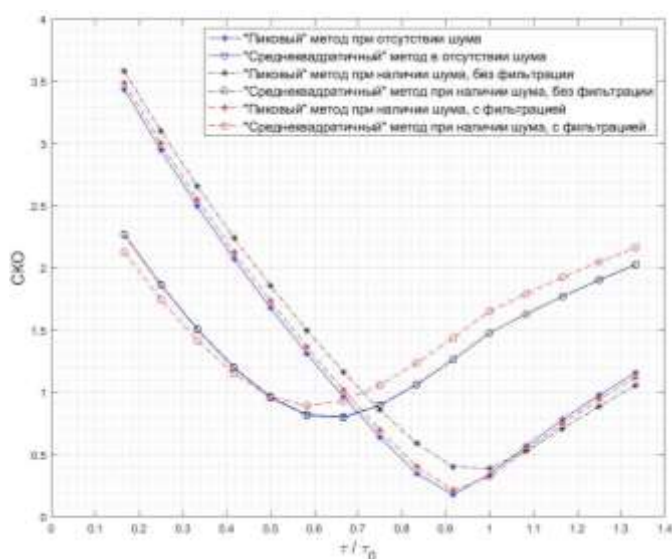


Рис. 3. Зависимость СКО от нормированной на  $\tau_0$  постоянной затухания  $\tau$  при усреднении получаемой оценки постоянной затухания

К тому же видно, что наилучший результат получается при выделении огибающей принятого сигнала «пиковым» методом нежели «среднеквадратичным». То есть на данном этапе можно сделать вывод о целесообразности использования при наборе статистики для дальнейших исследований усреднения получаемой оценки  $\tau$ , а при выделении огибающей её построение по локальным экстремумам.

Рассмотрим влияние на полученную характеристику изменения SNR и получим величину ошибки при оценке длительности следа для каждого значения (рис. 4 и 5). Из рис.4 видно, что при уменьшении SNR кривые сдвигаются вверх и пропадает минимум, исходя из которого можно вынести решение об оценке величины  $\tau_0$ , при этом величина СКО растёт. Введение фильтрации при приёме с

уменьшением величины SNR становится всё более оправданным и позволяет получить меньшее значение СКО при том же значении  $\tau$ . Вычисление длительности метеорного следа при большем SNR приводит к более точной оценке данного параметра (рис. 5). Так, для SNR = 20 дБ оценка длительности следа равна примерно 0.51 с и составляет 8 % от действительной величины.

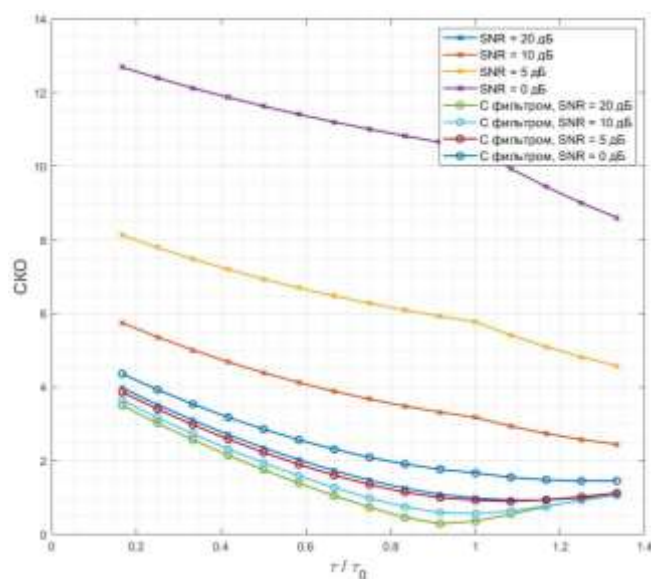


Рис. 4. Зависимость СКО от постоянной затухания  $\tau$  при разных SNR

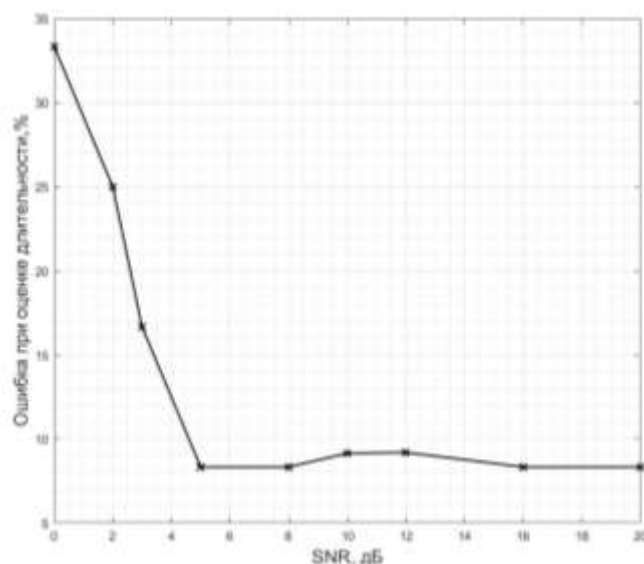


Рис. 5. Ошибка определения длительности метеорного следа в зависимости от величины SNR

Также работоспособность модели была проверена при других вариантах величины  $\tau_0$ . Так, например, ссылаясь на [2], где для эксперимента была взята  $\tau_0 = 0.1$  с, описанные выше эксперименты были проведены для данной постоянной затухания. В этом случае при той же начальной амплитуде следа его длительность составляет 0.92 с.

Так же, как и в предыдущем случае, был сделан вывод, что метод усреднения реализаций сигнала не подходит для

вычисления оценок необходимых параметров. «Пиковый» метод выделения огибающей принятого сигнала позволяет получить достаточно точную оценку  $\tau_0$ , а соответствующая экспериментально полученная оценка длительности следа при SNR = 20 дБ составляет примерно 0.78 с, что на 15 % меньше действительной величины.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье описан вариант реализации идеи создания программного комплекса, входящего в систему метеорной радиосвязи, позволяющего оценивать такие параметры метеорного следа, как постоянная затухания следа и его эффективная длительность. Модель показала хороший результат в точности оценок, но имеет место необходимость дальнейшей оптимизации программного кода с целью уменьшения вычислительных затрат для большего набора статистики и увеличения точности результатов.

В качестве развития идеи реализуемого программного комплекса предполагается добавление энергетического детектора на передатчике, так как ситуация неизвестной начальной амплитуды следа наиболее приближена к реальной метеорной системе передачи. После уточнения точности оценок планируется реализация

соответствующего адаптивного изменения параметров системы для максимизации вероятности доставки сообщений к абоненту.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sulimov A.I., & Karpov A.V. Simulation of frequency-selective properties of meteor scatter radio links. In 2019 Russian Open Conference on Radio Wave Propagation (RWP) (Vol. 1, pp. 488–491). IEEE. (2019, July).doi: 10.1109/RWP.2019.8810184.
- [2] Благоев Д.С., Волвенко С.В. Повышение скорости передачи информации в метеорных системах связи путем использования сигналов переменной длительности. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление, №5(108). 2010. С. 7-13.
- [3] Белькович О.И. Статистическая теория радиолокации метеоров. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1971. 103 с.
- [4] Волвенко С.В., Завьялов С.В., Макаров С.Б., Хачаянц М.Б. Выбор пороговых отношений сигнал/шум при приеме сигналов в метеорном канале связи с использованием полудуплексного протокола с повторной передачей по запросу // Радиотехника. 2016. № 12. С. 83–93.
- [5] Волвенко С.В., Макаров С.Б. Имитационная модель метеорной радиотехнической системы передачи сообщений. Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2007. № 1. СПб.: Изд-во Политехнического университета. С. 73–85.