Исследование зависимости вероятности ошибки от мощности передатчика при передаче данных в имитационной модели метеорной радиосвязи

Ефимова Елизавета Игоревна
Студент СПбПУ,
Россия, Санкт-Петербург
E-mail: can-doo@yandex.ru

Научный руководитель: **Завьялов С. В.**
доцент
Кафедры радиотехники и телекоммуникационных систем
СПбПУ, Россия, г. Санкт-Петербург

Актуальность работы: развитие метеорной радиосвязи [1] в Российской Федерации в настоящее время связано с освоением и использованием Северного морского пути. Особенностью данного вида радиосвязи является возможность передачи информации в сложных условиях Крайнего Севера. Кроме того, случайный характер образования метеорных следов, которые играют главную роль в образовании метеорной связи, является особым преимуществом по сравнению с остальными системами связи. Это же достоинство дает ещё одну сферу применения метеорных радиотехнических систем — военную.

На данный момент известно, что длина следа составляет примерно 15 км при ширине приблизительно в 20 м. Среднее время существование следа 0.2-2 секунд [2]. Электромагнитные волны эффективно отражаются метеорными следами в диапазоне частот 30-50 МГц [2]. Нижняя граница диапазона связана необходимостью снизить влияние атмосферных и галактических шумов[3]. Верхнее значение диапазона ограничивает влияние фазовой дисперсии от многолучевого распространения, наблюдающееся при частотах выше 60 МГц. [3]. Особенности системы метеорной радиосвязи дают возможность осуществлять передачу и прием данных на больших расстояниях, при использовании маломощных источников и простых антенн, а также позволяют обеспечить скрытность и помехоустойчивость данных, и малую подверженность естественным и искусственным ионосферным возмущениям, например, таким как северное сияние.

Проведение экспериментальных исследований метеорной радиосвязи требует сравнительно больших ресурсов. На практике удобнее исследовать характерные особенности метеорной радиосвязи с помощью имитационного моделирования. **Целью работы** является разработка имитационной модели метеорной радиосвязи для дальнейшего применения результатов на трассовых испытаниях.

Имитационная модель. В работе [3] рассматривается математическая и геометрическая модель метеорной радиосвязи, на которой базируется данная имитационная модель. Существует два типа метеорных следа в зависимости от линейной плотности электронов: недоуплотненные и переуплотненные. Так как переуплотненные следы встречаются значительно реже, в данной работе рассматриваются только недоуплотненные.

Линейная плотность электронов в метеорном следе зависит в основном от размера метеора и его массы. Из проведенных наблюдений оказалось, что число метеоров с массой большей, чем m_0, пропорционально $1/m_0$. Учитывая эту закономерность, получим функцию плотности вероятности линейной плотности электронов в метеорном следе (формула 1):

$f_q(q) = C/q^2\ [u(q - q_{min}) - u(q - q_{max})]$, (1)

где q_{min}, q_{max} — минимально и максимально возможные линейные плотности электронов метеорных следов; u(x) — функция Хевисайда; константа C определяется следующим способом:

$$C = \frac{q_{min} \cdot q_{max}}{q_{max} - q_{min}}. \quad (2)$$

Количество появления вспышек за определенный промежуток времени описывается распределением Пуассона, т.е. не является константой от времени. Более того, переменными параметрами имитационной модели являются скорость передачи информации, мощность передатчика и полоса частот системы. При изменении скорости передачи информации в интервале 9,6–52 Кбит/с, полоса частот системы варьируется от 615 Гц до 3.3 кГц. Мощность передатчика изменяется в диапазоне 100-1000 Вт и задается пользователем. Значения совпадают с величинами, используемыми в современном мире.

В данной модели имитируется пакетный режим передачи данных, причем пакетный режим в метеорной системе связи отличается от традиционных систем, таких как сотовая связь. Из-за физических особенностей отражения электромагнитных волн от метеорных следов, длительность и время появления пакета данных в метеорных системах не являются постоянными. На входе радиоприемника отношение сигнал-шум меняется в течение одного метеорного следа, а также при переходе от следа к следу. Из этого следует, что вероятность ошибки приема существенно меняется. Например, если взять пакет сообщения равного длительности следа, в начале пакета сообщения, отношение сигнал-шум будет составлять примерно 20-30 дБ, а в конце — 1-2 дБ.

Используемый в данной модели протокол работает следующим образом. Передатчик непрерывно «зондирует» канал передачи. В момент появления следа уровень сигнала в приемном устройстве превышает некоторый порог. Приемник отправляет короткий сигнал передатчику, информируя его об образовании канала. Далее передатчик оценивает длительность «вспышки», формирует пакет и начинает его передачу. Пакет формируют из особенностей того, что соотношение сигнал-шум не постоянно, а сильно различается вначале и в конце передачи. Таким образом, в начале пакета находится его номер, далее контрольная сумма, после — данные.

В модели используются следующие приближения: параметры принимаемого сигнала точно известны — отношение сигнал/шум в начале каждой «вспышки», фаза сигнала, длина пакета данных, начало и конец пакета, пренебрежимо малое время для расчета длины пакета и прохождение сигнала от следа до передатчика.[5]

Блок-схема имитационного моделирования представлена на рисунке 1. Первым блоком является блок установки параметров метеорной радиосвязи. Значения передаются в формирование информационных бит (параметр количество бит), блок канал (мощность приемника и передатчика, коэффициент антенн и соотношение сигнал-шум, а также электронная плотность метеорного следа в диапазоне 10^8 — 10^{14}).

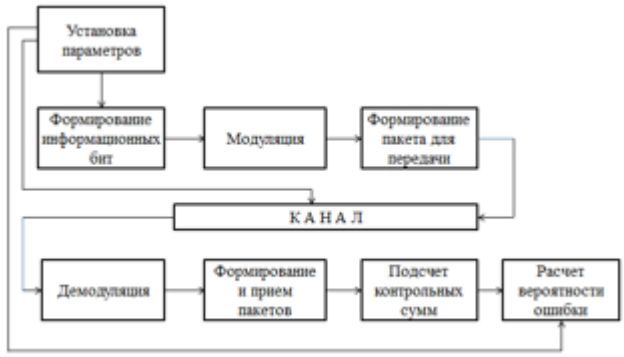


Рисунок 1. Блок-схема имитационного моделирования.

Далее блок-схему можно разделить на две смысловые части: передача и прием данных. При передаче выполняется кодирование данных (используются полярные коды). В блоке модуляции используется частотная модуляция, т.к. данные сигналы имеют минимальный пик-фактор, что позволяет максимально использовать усилители.

В части приема данных выполняются действия, обратные первой части: демодулирование, формирование по номерам полученных пакетов, расчёт контрольных сумм. В случае если контрольные суммы не совпадают, принятый пакет считается ошибочным и выполняется повторная передача.

Параметры имитационного моделирования. Для проведения моделирования были выбраны следующие параметры: расстояние между передающей и приемными станциями по окружности Земли — 500 км (объясняется особенностью геометрического строения метеорной радиосвязи), коэффициент усиления передающей и приёмной антенны — 10 (предполагается использование направленных антенн), длина волны — 6 метров, коэффициент потерь между антенной и приемником — 1.3, коэффициент тепловых шумов — 2.5 (описывают влияние галактических шумов), шумовой порог — 7.94 дБ (такое значение является предполагаемым для использования частотной модуляции).

Результаты имитационного моделирования представлены на рис.2. Показана зависимость вероятности ошибки от мощности передатчика. Увеличение мощности передатчика на порядок (от 100 до 1000 Вт) позволяет уменьшить вероятность ошибки в 2 раза до значения $0.7 \cdot 10^{-4}$.

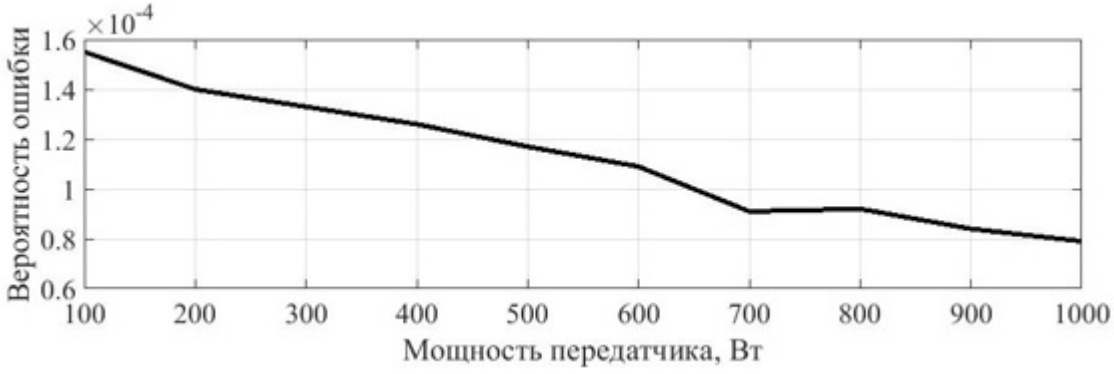


Рисунок 2. Экспериментальные значения.

В дальнейшем предполагается исследование перспективных более сложных схем модуляции, которые позволят увеличить скорость передачи и эффективность использования метеорного канала передачи. Полученные результаты и реализованная имитационная модель позволят получить необходимые параметры для проведения перспективных трассовых экспериментов по передаче информации в условиях Северного морского пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glover I.A. Meteor burst communications. I. Meteor burst propagation // Electronics & Communication Engineering Journal. August 1991. V. 3. № 4. P. 185–192.
2. Stuart W. Melville, A Practical Investigation of Meteor-Burst Communications, Durban, November 1991.
3. Белькович О.И. — Метеорное распространение радиоволн. — Зеленодольск, 2008.
4. Martin W. Abel, Meteor Burst Communications: Bits per Burst Performance Bounds, IEEE Transaction on Communication vol. 34, no. 9, September 1986.
5. Волвенко С.В, Макаров С.Б., Завьялов С.В., 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, № 12, 2016. — М.: Изд-во «Радиотехника», 2016. — с. 83 — 93.
6. Zan Li. — An Adaptive Algorithm for Joint Data Detection and Channel Estimation for Meteor Burst Communications Based on Per-Survivor Processing. — Beijing, 2015.