

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 004.056

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ ЦВЕТНЫХ ШУМАХ

© 2019 А. С. Лукьянов, С. С. Печников, А. В. Попов

Воронежский институт МВД России (г. Воронеж, Россия)

*В данной статье рассматриваются вопросы оптимизации отношения мощности полезного сигнала к мощности шума в системах связи, методы повышения помехоустойчивости передаваемых сигналов. Также указывается воздействие определенного типа помех на сигнал в канале передачи данных и рассмотрен принцип действия адаптивной системы на примере передачи маломощного сигнала по каналу связи при воздействии шума.*

*Ключевые слова: сигнал, шум, спектральная плотность мощности, помехоустойчивость, помеха, октава, частота.*

В настоящее время служебная информация является особенно важным ресурсом, а также выступает объектом преступной деятельности, ее помехоустойчивая передача и прием должны обеспечиваться рядом современных систем и технологий.<sup>1</sup>

Искусственно созданные помехи (шумы) могут быть использованы преступниками для подавления информационного сигнала с последующим его перехватом. Поэтому перед органами внутренних дел стоит задача максимально увеличить помехоустойчивость передаваемого сообщения, в том числе, и по каналам связи с помехами разного типа.

Одним из главных параметров в теории электросвязи является отношение сигнал/шум, т.е. величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума, и которая имеет аббревиатурное сокращение SNR (signal-to-noise ratio) и определяется по формуле:

$$SNR = P_s/P_{ш} = (A_c)^2/(A_{ш})^2,$$

где  $P$  – мощность сигналов,  $A$  – среднее значение амплитуды.

Данный параметр в полной мере может влиять на качество передаваемой информации. При высоком уровне шума значительно снижается скорость передачи данных, возникают значительные помехи с последующими ошибками, что является недопустимым, особенно в структуре ОВД, где любая неточность в передаваемом сообщении может иметь крайне негативные последствия. Шум или фоновые электромагнитные помехи присутствуют практически во всех системах передачи данных, поэтому оптимизация вышеуказанного параметра является важным аспектом функционирования систем связи [1]. Низкие шумовые характеристики обусловлены рядом факторов, представленных на рисунке 1.

В природе встречается достаточно много видов помех, каждая из которых генерируется либо физическими процессами, либо аппаратурой [2]. Данные случайные процессы обладают своими параметрами распределения (спектральная плотность мощности (СПМ)). Самой распространенной моделью помехи является белый (Гауссовский) шум, в котором СПМ постоянна, а дисперсия равна бесконечности. Как и другие шумы, он имеет ограничения по полосе частот. Увеличение мощности сигнала относительно помехи значительно усилит нагрузку на линию связи, поэтому применение такого метода при большом числе абонентов сети является не оптимальным. Максимизация SNR для такого шума может быть реализована посредством использования согласованных

Лукьянов Александр Сергеевич – Воронежский институт МВД России, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, к. т. н., las92@yandex.ru.

Печников Сергей Сергеевич – Воронежский институт МВД России, адъюнкт кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, orl\_os@mail.ru.

Попов Алексей Вячеславович – Воронежский институт МВД России, курсант 3 курса радиотехнического факультета, Alex\_std\_ex@mail.ru.

фильтров, либо расчетным методом с помощью анализа принятого сигнала с учетом априорных сведений о нем. Сформировавшееся знание о проанализированном сигнале называется апостериорным. Вероятность данного знания позволяет не только детектировать зашумленный сигнал, но и мини-

мизирует вероятность ошибки при возникновении ложных составляющих. Происходит это в результате формирования функций «взаимокорреляционной» и правдоподобия, которые выделяют максимумы только в окрестности истинного значения.



Рисунок 1. Причины низких шумовых характеристик.

Частными случаями являются цветные шумы, носят свои названия в зависимости от соотношений спектра случайного процесса и спектра различных цветов видимого света. Их СПМ уже не является постоянной, а изменяется с определенной зависимостью от частоты.

Рассмотрим методы оптимизации параметра SNR в системах связи, если в канале передачи данных на полезный сигнал воздействует помеха определенного типа:

1. Розовый (мерцательный) шум или фликкер-шум, в котором затухание происходит равномерно (3 дБ на октаву) и его спектральная плотность мощности (рис. 2) обратно пропорциональна частоте и определяется по формуле  $\hat{S}(\omega) = \sim 1/f$ . Встречается практически во всех электронных устройствах, обладает высокой интенсивностью на низких частотах.

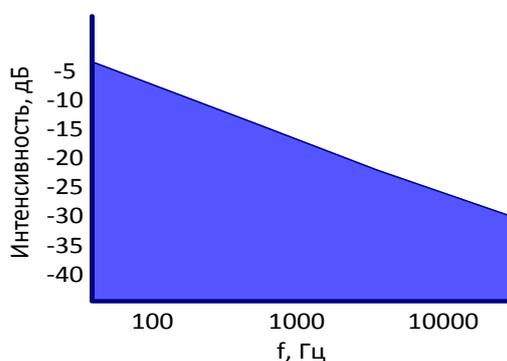


Рисунок 2. Спектральная плотность

мощности розового шума.

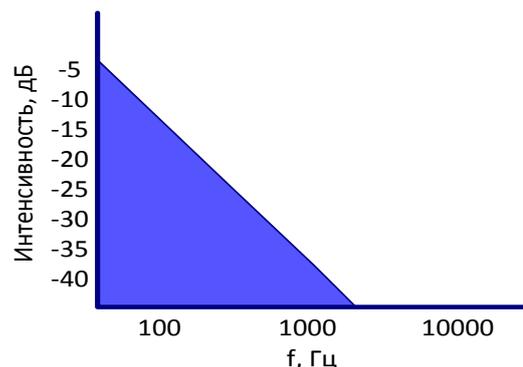


Рисунок 3. Спектральная плотность мощности розового шума.

2. Красный, «коричневый» (Броуновский) шум, в котором затухание спектральной плотности мощности составляет 6 дБ на октаву и определяется по формуле:  $\hat{S}(\omega) = \sim 1/f^2$  (рис. 3) и может быть получен путем интегрирования белого шума или с помощью алгоритма, который симулирует броуновское движение. Чтобы минимизировать влияние помех такого типа рационально использовать принцип изменения частот в процессе передачи сообщения (frequency hopping). Его использование позволит неоднократно изменять несущую частоту сигнала через кратковременный период времени, что позволит сконцентрировать спектральную плотность полезного сигнала на частотах с минимальной интенсивностью шума.

1. Синий шум. Помеха, СПМ которого увеличивается на 3 дБ на октаву. СПМ (рис. 4) пропорциональна частоте:  $\dot{S}(\omega) = \sim k \cdot f$  и может быть получен путем дифференцирования розового шума, в результате чего их спектры, как видно из рисунков, являются зеркальными.

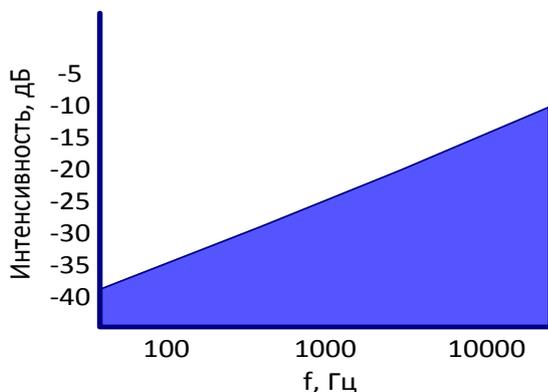


Рисунок 4. Спектральная плотность мощности синего шума.

2. Фиолетовый шум реализуется посредством дифференцирования белого шума по времени. СПМ (рис. 5) этой помехи увеличивается на 6 дБ на октаву и зеркальна СПМ красного (броуновского) шума. Спектр пропорционален квадрату частоты:  $\dot{S}(\omega) = \sim f^2 + n_0$ , который реализуется посредством дифференцирования белого шума по времени.

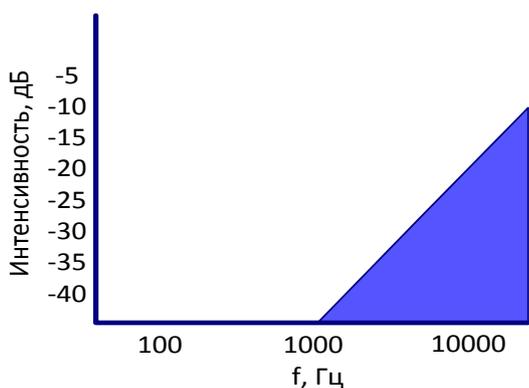


Рисунок 5. Спектральная плотность мощности фиолетового шума.

Оптимизация отношения сигнал/шум для фиолетового и синего шума заключается в использовании адаптивной системы радиосвязи [3], которая изменяет параметры передачи сигнала, что позволяет расширить или уменьшить полосу пропускания полезного сигнала, изменить вид модуляции в зависимости от воздействующих помех.

Поскольку узкополосный сигнал, передаваемый в диапазоне от 1 кГц и выше подавить таким шумом, не составит трудности, то при использовании адаптивной системы в результате расширения полосы пропускания, будет потеряна лишь часть информационного сигнала, который с большой вероятностью сможет быть детектирован на приемной стороне.

3. Серый шум. Помеха, воспринимаемая одинаково на всех частотах, и генерируется путем суммирования красного, и фиолетового шумов, а также имеет минимальную интенсивность в определенной полосе частот. СПМ такого шума представлена на рисунке 6.

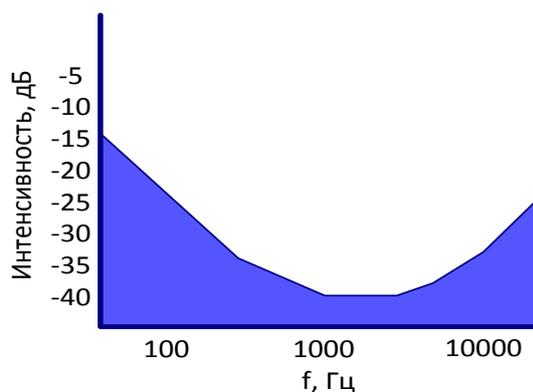


Рисунок 6. Спектральная плотность мощности серого шума.

Проанализировав спектр такой помехи, можно прийти к заключению, что для увеличения параметра сигнал/шум необходимо использовать комбинированный метод. Адаптивная система изменит спектр сигнала таким образом, чтобы он занимал меньший диапазон частот, а принцип скачкообразного изменения частоты обеспечит его концентрацию на частотах с минимальной интенсивностью шума.

Если рассмотреть принцип действия адаптивной системы на примере передачи маломощного сигнала по каналу связи при воздействии броуновского шума, можно пронаблюдать, что представлен обычный амплитудно-модулированный сигнал, на который был наложен красный шум (рис. 7, а). Распознать сигнал на приемной стороне в этом случае не представляется возможным, поскольку его спектр полностью зашумлен. На рисунке 7, б была использована адаптивная система и скачкообразное изменение частоты, в котором большая часть такого сигнала либо подвергается минимальному

шумовому воздействию, либо не подвергается вообще. В результате отношение сиг-

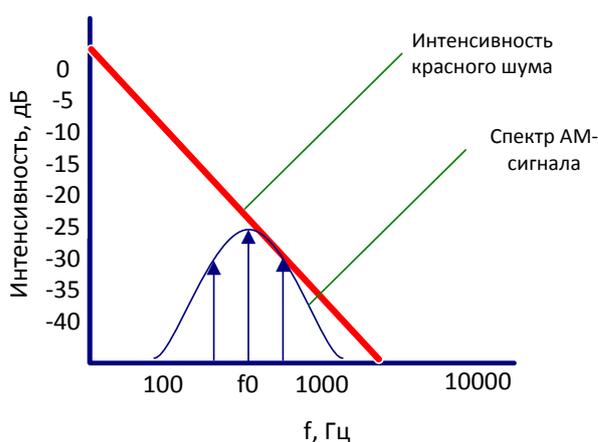


Рисунок 7, а. СПМ сигнала без адаптации

В результате применения этих методов значительно повышается помехоустойчивость передаваемых сигналов, и подавить их становится гораздо сложнее, поскольку искусственно созданные помехи направлены на сигнал определенной частоты и амплитуды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, Р. Н. Теория электрической связи: курс лекций. Учебное пособие для вузов / Р. Н. Андреев, Р. П. Краснов,

нал/шум будет оптимальным и детектирование сигнала не представит затруднений.

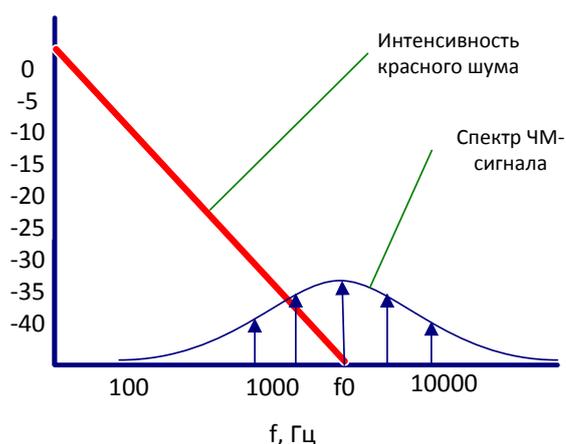


Рисунок 7, б. СПМ сигнала с адаптацией под помеху

М. Ю. Чепелев. – Горячая линия: Телеком, 2016. – 230 с.

2. Парфенов, В. И. Теория электрической связи: учебное пособие / В. И. Парфенов, В. П. Удалов. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2011. – 124 с.

3. Принципы адаптивной системы радиосвязи, ее достоинства и недостатки [Электронный ресурс]. URL: <http://vivalaradio.ru/archives/330> (дата обращения 28.02.2019).

### OPTIMIZATION OF THE RELATION SIGNAL/NOISE AT COLOR NOISE

©2019 A. S. Lukyanov, S. S. Pechnikov, A. V. Popov

Voronezh institute of the Interior of Russia (Voronezh, Russia)

*In this article questions of optimization of the relation of power of a useful signal to noise power in communication systems, methods of increase in noise stability of the transmitted signals are considered. Also impact of a certain type of hindrances on a signal is specified in a data transmission channel and the principle of action of an adaptive system on the example of transfer of a low-power signal on a communication channel at impact of noise is considered.*

*Key words: signal, noise, spectral density of power, noise stability, hindrance, octave, frequency.*