

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ОСЛАБЛЕНИЯ СИГНАЛА В АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

д.т.н., проф. А.И. Стрелков, Е.И. Жилин, А.П. Лытюга, к.т.н. Т.А. Стрелкова

Исследуется возможность наблюдения космических объектов опτικο - электронными средствами в условиях сильного фона. С помощью математического моделирования анализируется отношение сигнал – шум (с/ш) и условные вероятностные характеристики при ослаблении оптического сигнала детерминированным и стохастическим (нейтральный фильтр) методами.

Телевизионные опτικο - электронные системы (ОЭС) широко применяются в астрономических наблюдениях околоземного и дальнего космоса. В ряде случаев, когда интенсивность фонового излучения (аддитивные помехи, вызванные рассеиванием света Солнца в атмосфере) велика, задача ослабления сигналов приобретает принципиальное значение. Поскольку фоновая составляющая сигнала может существенно превосходить динамический диапазон (ДД) телевизионной (ТВ) трубки, то отсутствие операции ослабления на входе ОЭС приведет к насыщению фотокатода ТВ - трубки и полной потере информации о наблюдаемом космическом объекте (КО).

Известны и широко применяются различные способы уменьшения интенсивности входных сигналов: уменьшение угла поля зрения ОЭС, использование нейтральных фильтров (НФ) и диафрагм, регулировка чувствительности фотоприемника, методы компенсации. Однако, в ряде случаев существующие методы защиты от фонового излучения либо не предотвращают насыщения фотокатода, либо приводят к ухудшению отношения сигнал/шум (с/ш). Так, например, уменьшение угла поля зрения ограничено требованиями скорости обзора и массо - габаритными характеристиками устройства. Регулировка чувствительности и компенсационные методы не позволяют увеличивать ДД ТВ-трубок для ведения наблюдений во всем диапазоне изменения яркости фона неба (более 70 Дб) [1-3] В свою очередь, как показано в [4], использование НФ и диафрагм приводит к ухудшению отношения с/ш в соответствии с выражением

$$\varphi_s = \varphi_0 / \sqrt{K}, \quad (1)$$

где φ_s - отношение с/ш после стохастического ослабления (НФ); φ_0 - отношение с/ш исходного потока; K - коэффициент ослабления НФ.

Для расчета отношения с/ш использовалось определение [4]:

$$\varphi = \bar{N}_c / \sqrt{D_c + D_\phi}, \quad (2)$$

где φ - отношение с/ш; \bar{N}_c - среднее количество фотонов от космических объектов; D_c, D_ϕ - дисперсии сигнала от КО и фона соответственно.

В общем случае в подкоренное выражение входит третье слагаемое, характеризующее дисперсию темновых токов D_T . Однако, учитывая, что при дневных и сумеречных условиях наблюдения дисперсия фоновой составляющей сигнала гораздо больше дисперсии темновых токов, последним слагаемым будем пренебрегать. В тоже время, по сравнению с вышеперечисленными методами, как показано в [4], при детерминированном ослаблении сигнала влияние коэффициента ослабления на отношение с/ш незначительно.

Настоящая статья посвящена рассмотрению возможности применения детерминированного ослабления входного светового потока для наблюдения КО ОЭС в условиях сильного фона (сумеречное и дневное время). Для проверки данных предположений было проведено математическое моделирование (с использованием ЭВМ) процессов, протекающих в ОЭС с применением детерминированного и стохастического ослабления.

Свойства отсутствия последействия и стационарности светового потока, обусловленные немонохроматичностью сигнала от КО и фона, позволяют описывать поток фотонов N на интервале наблюдения законом Пуассона [5]. Поэтому в качестве сигнала от КО и фона на ЭВМ моделировался поток фотонов с Пуассоновским распределением. В качестве сигнала от КО рассматривался след протяженностью $15''$ при наблюдении ОЭС с угловым разрешением $2\beta_{\text{ко}} = 3''$. Для упрощения анализа процессов в приемной ТВ-трубке квантовая эффективность фотокатода $q=1$, т.е. полагалось, что количество фотоэлектронов равно количеству фотонов, пришедших на фотокатод ТВ-трубки. Реализация случайной величины количества фотоэлектронов (N), “выбитых” с элементов разрешения (n) фотокатода за время кадра ($T_{\text{кадр}}$), при различных условиях ослабления сигнала представлена на рис.1. На рис.1,а изображена реализация числа фотоэлектронов по элементам разрешения фотокатода для условия “идеального” приемника с неограниченным ДД. При сигнале от КО $9,^m 25$ отношение с/ш составило $\varphi \approx 11$. Яркость фона в этом случае составляла $10,^m 55$ с одной квадратной угловой секунды, что соответствует сумеречным условиям наблюдения и превышает ДД ТВ - трубки с внешним фотоэффектом на 15 Дб. Сигнал от КО наблюдается четко. При использовании реальных трубок в результате насыщения, на фотокатоде создается равномерно распределенный потенциал (рис.1,б), что делает невозможным обнаружение и наблюдение сигнала от КО. В этом случае требуется проводить ослабление входного сигнала.

Ослабление сигнала нейтральным фильтром в ходе математического моделирования реализовалось стохастически - случайным пропуском

каждого фотона исходного потока с вероятностью $p = K^{-1}$, что соответствует вероятностной модели Бернулли. Реализация зависимости количества фотоэлектронов (N), «выбитых» с элементов разрешения (n) фотокатода за время ($T_{\text{кадр}}$) после ослабления входного потока нейтральным фильтром, показана на рисунке 1,в. Вследствие дополнительных флуктуаций исходного потока, обусловленных случайным характером ослабления ($K = 50$), отношение с/ш уменьшилось до значения $\phi = 1,55$. В этом случае обнаружить сигнал затруднительно.

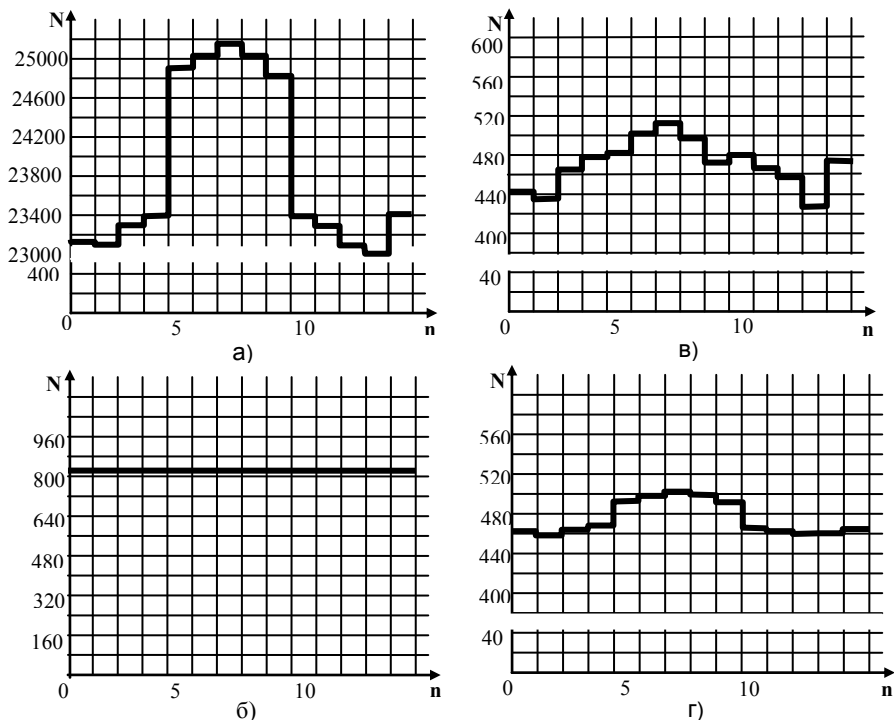


Рис. 1. Результаты математического моделирования сигналов на входе целевого приемника

На рисунке 1,г представлена реализация N после детерминированного ослабления в 50 раз. В отличие от стохастического ослабления при детерминированном ослаблении пропускается только каждый K -й фотон исходного потока с последующим не пропуском $K - 1$ фотонов. Физически это проявляется, как пропорциональное уменьшение уровня сигнала. При этом отношение с/ш практически не изменяется и сигнал от КО наблюдается четко.

Приведенные выше результаты математического моделирования демонстрируют результаты стохастического и детерминированного типов ослабления и позволяют оценить величину отношения с/ш. Как известно [5], в опти-

ческом диапазоне длин волн величина отношения с/ш не является исчерпывающей характеристикой для нахождения параметров обнаружения. В связи с этим для оценки возможностей ОЭС по обнаружению сигнала КО на фоне аддитивных помех большой интенсивности были рассчитаны зависимости вероятностных характеристик обнаружения от яркости фона неба с одной квадратной угловой секунды (рис.2). Как видно из хода зависимости условной вероятности ложной тревоги (рис.2,б) и правильного обнаружения (рис.2,а) при детерминированном ослаблении сигнала возможно его обнаружение при яркости фона в 30-40 раз большей, чем при ослаблении сигнала той же интенсивности на нейтральном фильтре. Для более ярких космических объектов, например, с блеском $4^m,0$ характеристики обнаружения остаются приемлемыми в течении всего времени суток, при учете что фон неба изменяется от $3^m,0$ до $22^m,0$ (рис. 2 а, б).

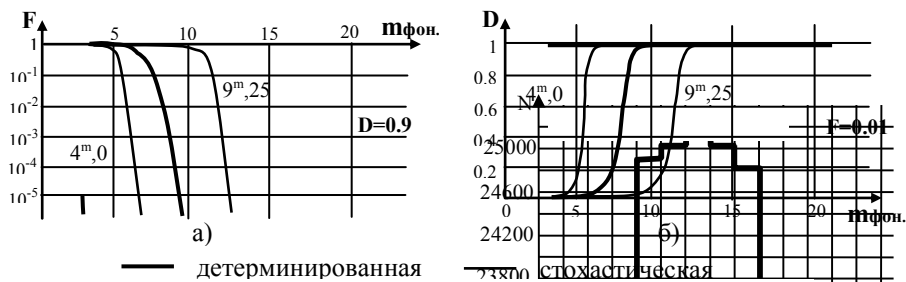


Рис.2. Характеристики обнаружения

Приведенные параметры качества приема и обнаружения сигнала (ϕ, D, F) демонстрируют целесообразность уменьшения детерминированного ослабления входного светового потока в условиях сильного фона и дают ориентировочную оценку повышения качества ОЭС. Результаты, полученные в ходе математического моделирования, позволяют ставить вопрос об обслуживании КО с большим блеском в сумеречное и дневное время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарь С.Ф., Выгон В.Г., Маланин А.В., Шилин В.Д. Оценка возможности наблюдения ИСЗ пассивными оптическими средствами в сумеречных и дневных условиях // Оптический журнал. - 1994. - №3. - С. 42 - 47.
2. Короленко В.М., Ленцман В.Л., Пинзюв А.А., Никрызов В.Г. Преобразование свет - сигнал в ТВ - системах. - М.: Связь. - 1978. - 256 с.
3. Справочник по приёмникам оптического излучения. - К.: Техника. - 1984. - 240 с.
4. Стрелков А.И., Стадник А.М., Лытюга А.П., Стрелкова Т.А. Сравнительный анализ вероятностного и детерминированного методов ослабления

световых потоков // Радиотехника. – 1988. – Вып.108.

5. Москвитин С.В., Стрелков А.И. Теоретические основы оптической локации. – Харьков: ВИРТА. – 1992. – 369 с.

Поступила в редколлегию 28.02.2001
