

УДК 612.37:621.391

А.П. Лытюга

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ДНЕВНОЕ ВРЕМЯ

Статья посвящена разработке математической модели сигналов в выходной плоскости астрономической телевизионной системы (АТС) при регистрации оптических сигналов от низкоорбитальных космических объектов (НКО) в сумеречное и дневное время. Приведены аналитические выражения для средних значений и дисперсий сигнальной и помеховой составляющих отклика фотоприемника. Математическая модель может использоваться в качестве основы для разработки алгоритмов обнаружения оптических сигналов от НКО в АТС при наблюдениях в дневное время.

Ключевые слова: математическая модель сигналов; астрономическая телевизионная система; низкоорбитальный космический объект; обнаружение сигналов от космических объектов; сумеречные и дневные условия наблюдения космических объектов.

Введение

Для эффективного решения задач в рамках проблем астероидной опасности и космического мусора требуется повышение информативности астрономических наблюдений, что приводит к необходимости поиска возможностей повышения качества изображений космических объектов, полученных в дневных условиях.

Основные технические характеристики многих существующих астрономических телевизионных систем (АТС), например, проникающая способность в дневных условиях наблюдения, могут быть существенно улучшены путем применения современных методов регистрации и обработки сигналов [1, 2, 10].

Для описания оптических сигналов могут применяться различные модели, представления и подходы. Качество математической модели и границы ее применимости зависят от того, насколько полно в ней учтено влияние условий наблюдения на параметры описываемых сигналов. Так использование положений волновой теории света позволяет достаточно адекватно описать явления распространения,

дифракции, интерференции, рассеяния света в различных средах. Корпускулярные представления о структуре световых потоков дают возможность учета статистических характеристик оптических сигналов. Поэтому математические модели сигналов, основанные на совместном использовании корпускулярного и волнового описания оптических сигналов, являются более адекватными и могут служить теоретической основой модернизации АТС.

Выбор основных физических принципов и подходов, являющихся основой для составления математических моделей сигналов в различных условиях, должен осуществляться с учетом характеристик описываемых сигналов (например, диапазон интенсивностей, пространственная структура) и фоновой, шумовой и помеховой обстановки.

Целью данной статьи является составление математического описания сигналов в астрономических телевизионных системах, учитывающего изменение пространственной структуры сигнальной составляющей в режиме обнаружения объекта (когда изображение объекта в телевизионном кадре имеет форму следа) в дневное время наблюдения.

Математическая модель сигналов в астрономических телевизионных системах при отсутствии информации о космическом объекте

При разработке математической модели сигналов от низкоорбитальных космических объектов в астрономических телевизионных системах будем использовать совместно положения волновой и корпускулярной теорий света. При этом будем считать, что волновое представление позволяет получить среднее значение интенсивности светового потока в некоторой области плоскости фотоприемника. Корпускулярные представления будем использовать для описания статистических свойств оптических сигналов [1, 3 – 6]. Для построения математической модели сигналов при регистрации оптических сигналов от низкоорбитальных космических объектов в дневных условиях рассмотрим структуру сигналов в выходной плоскости системы.

При регистрации сигналов от низкоорбитальных космических объектов в дневное время пространственное распределение сигнальной составляющей в телевизионном кадре определяется значением радиуса корреляции атмосферных неоднородностей [2, 7] и перемещением наблюдаемого объекта за время формирования телевизионного кадра [8].

В момент времени t_0 начала формирования телевизионного кадра центр изображения космического объекта находится в точке с координатами (u'_0, v'_0) плоскости фотоприемника. За время формирования телевизионного кадра T_H наблюдаемый объект смещается по своей орбите, что приводит к смещению изображения объекта в плоскости фотоприемника. Величина смещения L зависит от скорости смещения изображения и связана с орбитальной скоростью объекта выражением:

$$L = V_{из} T_H, \quad (1)$$

где $V_{из} = V_{ко} \cdot (F/H)$; $V_{ко}$ – скорость орбитального движения объекта; F – фокусное расстояние оптической системы; H – высота орбиты объекта.

За время T_H центр изображения объекта смещается в точку плоскости фотоприемника с координатами $(u'_0 + L \cos \alpha, v'_0 + L \sin \alpha)$.

Угол α , образуемый продольной осью следа с положительным направлением оси u , может принимать значения в диапазоне $[-\pi/2; \pi/2]$.

Для удобства дальнейших преобразований проведем преобразование телевизионной системы координат u', v' в систему u, v путем поворота относительно точки $(0,0)$ на угол α . Тогда след изображения объекта, сформированный за время T_H , в системе координат u, v будет иметь расположение, показанное на рис. 1. Таким образом, поворот системы координат позволяет характеризовать след

изображения космического объекта в телевизионной системе координат u, v координатами (u_0, v_0) центра изображения объекта в момент времени t_0 начала формирования кадра и размером следа L , зависящим от скорости объекта.

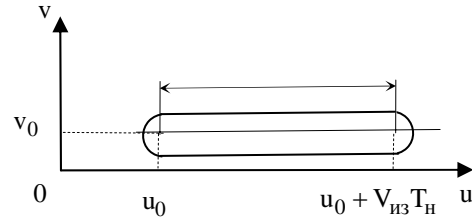


Рис. 1. Схематическое представление положения следа космического объекта в кадре после поворота системы координат

Пространственное распределение сигнальной составляющей в телевизионном кадре изменяется по сравнению с распределением сигнальной составляющей от неподвижного объекта (или подвижного объекта, сигнал от которого регистрируется в режиме сопровождения), определяемым в [1].

Аналитически пространственное распределение сигнальной составляющей от подвижного объекта, регистрируемой в режиме первичного обнаружения, для случая использования прямоугольной входной апертуры с размерами a и b и волновой теории света можно записать в виде дифракционной картины Фраунгофера, смещающейся в фокальной плоскости астрономической телевизионной системы за время T_H по координате u на величину длины следа изображения объекта. Т.к. количество фотонов в световом потоке пропорционально квадрату модуля электрической составляющей электромагнитной волны и фотоприемник осуществляет преобразование потока фотонов в поток носителей зарядов N_C , число которых пропорционально количеству фотонов в световом потоке, представим пространственное распределение числа зарядов в телевизионном кадре в виде:

$$N_{VC}(u, v) \approx N_{VC0} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin \left[\frac{c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)}{c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]}{c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^2 \times \left[\frac{\sin \left[\frac{d(v - v_0) \cdot (b/2)}{d(v - v_0) \cdot (b/2)} \right]}{d(v - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dt, \quad (2)$$

где t – время, изменяющееся в пределах $(t_0 \dots t_0 + T_H)$. Графически распределение (2) представлено на рис. 2. Амплитуда распределения (2) N_{VC0} является функцией скорости смещения изображения объекта. Величину N_{VC0} можно определить, сделав допущение, что в пределах времени регистрации излучение объекта является стационарным, т.е. среднее значение количества фотонов от объекта, регистрируемых фотоприемником за промежуток времени T_H , постоянно.

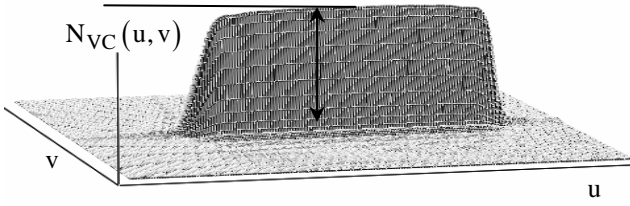


Рис. 2. Пространственное распределение сигнальной составляющей от подвижного объекта, регистрируемой в режиме первичного обнаружения за время T_H , полученное с использованием волновой теории света

С помощью волновой теории возможно описать только среднее значение интенсивности оптического сигнала в области ΔS_{ij} , достижимое при бесконечно большом времени регистрации. Исходя же из корпускулярных свойств световых потоков, очевидно, что пространственное распределение интенсивности сигнальной составляющей в плоскости фотоприемника, полученное за конечное время регистрации (время формирования телевизионного кадра), будет случайным (рис. 3).

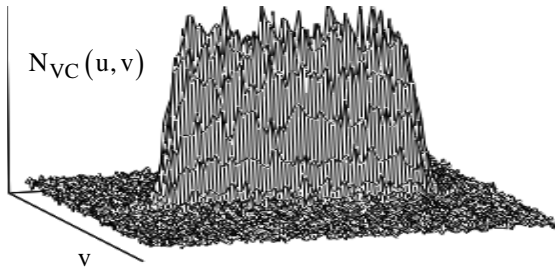


Рис. 3. Реализация сигнальной компоненты в телевизионном кадре, полученная с учетом корпускулярной структуры оптического излучения

Для описания фоновой и сигнальной составляющих входного светового воздействия проведем рассуждения, аналогичные проведенным в [1]. При описании фоновой составляющей будем считать, что распределение ее среднего значения в плоскости фотоприемника является равномерным. Аналогично разобьем плоскость фотоприемника на $k \times m$ элементарных областей размером

$$\Delta S_{ij} = (u_i - u_{i-1})(v_j - v_{j-1}),$$

где $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, m$.

В каждой области значение интенсивности фоновой составляющей на конечном временном интервале является случайной величиной и определяется интенсивностью случайного дискретного потока фотонов $\xi_{Фij}(t)$.

В каждой элементарной области ΔS_{ij} за время накопления T_H произойдет генерация n_{ij} зарядов. Среднее значение числа зарядов в случае, когда в

реализации присутствует только помеховая составляющая, выразим через среднюю скорость счета помеховых зарядов в единицу времени на единичной площади (N_{Π}), как

$$\bar{n}_{ij} = N_{\Pi}(u, v) = N_{\Pi} T_H \Delta S_{ij}, \quad (3)$$

а среднее значение числа зарядов в случае, когда в реализации присутствует только сигнальная составляющая, – через среднюю скорость счета сигнальных зарядов в единицу времени на единичной площади (N_C):

$$\bar{n}_{ij} = N_C(u, v) = N_C T_H \Delta S_{ij}. \quad (4)$$

По аналогии с [1] будем считать, что потоки носителей заряда N_C и N_{Π} имеют пуассоновскую статистику. Тогда вероятность появления n_{ij} зарядов на площадке ΔS_{ij} за время накопления T_H

$$P(n_{ij}) = \frac{(\bar{n}_{ij})^{n_{ij}}}{n_{ij}!} \exp[-\bar{n}_{ij}]. \quad (5)$$

Опуская рассуждения, аналогичные проведенным в [1] при выводе отношения правдоподобия, запишем выражение для логарифма отношения правдоподобия для случая обнаружения сигнала от низкоорбитального космического объекта, зарегистрированного в режиме первичного обнаружения:

$$\ln L_V = \frac{N_{VC0}}{N_{\Pi}} Y_V(\hat{n}) - W_{VC}. \quad (6)$$

Выражения для величин $Y_V(\hat{n})$ и W_{VC} с использованием распределения (2), имеют вид:

$$Y_V(\hat{n}) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m n_{ij} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin[c(u_i - u_0 + V_{из3}t) \cdot (a/2)]}{c(u_i - u_0 + V_{из3}t) \cdot (a/2)} \right]^2 \times \left[\frac{\sin[d(v_j - v_0) \cdot (b/2)]}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dt, \quad (7)$$

где $\hat{n} = n_{1j}, n_{2j}, \dots, n_{kj}, n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{km}$ – принятая реализация;

$$W_{VC} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m N_{VC0} T_H \Delta S_{ij} \times \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin[c(u_i - u_0 + V_{из3}t) \cdot (a/2)]}{c(u_i - u_0 + V_{из3}t) \cdot (a/2)} \right]^2 \times \left[\frac{\sin[d(v_j - v_0) \cdot (b/2)]}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dt. \quad (8)$$

Величина отношения правдоподобия с точностью до коэффициента определяется значением случайной функции $Y_V(\hat{n})$, зависящей от принятой реализации \hat{n} .

Будем считать случайную величину $Y_V(\hat{n})$ подчиняющейся нормальному закону распределения, так как она представляет собой сумму доста-

точно большого числа слагаемых, каждое из которых является произведением случайной величины, подчиняющейся пуассоновской статистике, и значения весового коэффициента, являющегося значением функции пространственного распределения сигнальной составляющей в телевизионном кадре в данной области кадра.

Для того чтобы полностью статистически охарактеризовать величину, подчиняющуюся нормальному закону распределения, необходимо найти среднее значение и дисперсию этой случайной величины. Запишем выражение для $\overline{Y_{V\Pi}(\hat{n})}$ – среднего значения величины $Y_{V\Pi}(\hat{n})$ – в случае, когда в принятой реализации отсутствует сигнальная составляющая:

$$\begin{aligned} \overline{Y_{V\Pi}(\hat{n})} &= \\ &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m n_{ij} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^2 \times (9) \\ &\times \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dt. \end{aligned}$$

Учитывая, что линейный размер центральной области распределения интенсивности (2) значительно меньше линейного размера фотоприемника, можно заменить суммы по i и j в (9) интегралами в бесконечных пределах, т.е., подставляя значение $\overline{n_{ij}}$ из (3), получим:

$$\begin{aligned} \overline{Y_{V\Pi}(\hat{n})} &= \\ &= N_{\Pi} T_H \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^2 dt du \times (10) \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v - v_0) \cdot (b/2))}{d(v - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dv, \end{aligned}$$

где N_{Π} – средняя скорость счета помеховых зарядов в единицу времени на единичной площади.

Проведя преобразования, связанные с вычислением интегралов в правой части (10) запишем это выражение в следующем виде:

$$\begin{aligned} \overline{Y_{V\Pi}(\hat{n})} &= N_{\Pi} T_H \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(c(u - u_0) \cdot (a/2))}{c(u - u_0) \cdot (a/2)} \right]^2 du \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v - v_0) \cdot (b/2))}{d(v - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dv + \\ &+ N_{\Pi} T_H V_{из} T_H \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v - v_0) \cdot (b/2))}{d(v - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dv. (11) \end{aligned}$$

$$D(Y_{V\Pi}(\hat{n})) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \left[\int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^4 \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^4 dt \right] \times D(n_{ij}). (15)$$

Интегралы в правой части (11) могут быть сведены к табличным и вычислены с использованием [9]. После интегрирования выражение (11) примет вид:

$$\overline{Y_{V\Pi}(\hat{n})} = N_{\Pi} T_H \left[\frac{4\pi^2}{c a d b} + V_{из} T_H \frac{2\pi}{d b} \right]. (12)$$

Отметим, что при $V_{из} = 0$ выражение (12) совпадает с выражением, полученным в [1] для среднего значения функции $\overline{Y_{V\Pi}(\hat{n})}$ для случая, когда сигнал от космического объекта регистрируется в режиме сопровождения.

Обозначим дисперсию величины $Y_{V\Pi}(\hat{n})$ через $D(Y_{V\Pi}(\hat{n}))$. Используя (7), запишем:

$$\begin{aligned} D(Y_{V\Pi}(\hat{n})) &= \\ &= D \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m n_{ij} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^2 \times \right. \\ &\left. \times \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dt \right). (13) \end{aligned}$$

Дисперсия величины $Y_{V\Pi}(\hat{n})$ будет определяться дисперсией значений n_{ij} в пространственных областях ΔS_{ij} , умноженных на значения аналогичных весовых коэффициентов. Значения n_{ij} в различных пространственных областях ΔS_{ij} являются взаимно независимыми, n_{ij} является реализацией пуассоновского процесса. Дисперсия суммы взаимно независимых величин равна сумме дисперсий этих величин. Т.е. для дисперсии величины $Y_{V\Pi}(\hat{n})$ можно записать:

$$\begin{aligned} D(Y_{V\Pi}(\hat{n})) &= \\ &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m D \left(n_{ij} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^2 \times \right. \\ &\left. \times \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dt \right). (14) \end{aligned}$$

Значения интеграла в правой части (14) являются значениями распределения (2) в областях ΔS_{ij} , не являются случайными величинами, не зависят от принятой реализации и могут быть вынесены за знак дисперсии.

С учетом этого запишем (14) в виде:

Так.как. p_{ij} является реализацией пуассоновского процесса, для которого дисперсия численно равна среднему значению, то, используя (3) и заменяя операции суммирования интегрированием, запишем:

$$\begin{aligned} D(Y_{V\Pi}(\hat{n})) &= N_{\Pi} T_H \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^4 dtdu \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^4 dv. \end{aligned} \quad (16)$$

После вычисления интегралов получим

$$\begin{aligned} D(Y_{V\Pi}(\hat{n})) &= \\ &= N_{\Pi} T_H \left[\frac{16\pi^2}{9cadb} + V_{из} T_H \frac{4\pi}{3db} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Аналогичные рассуждения проведем для определения среднего значения и дисперсии аддитивной смеси сигнала и помехи для случая регистрации сигналов от космического объекта астрономической телевизионной системой в режиме первичного обнаружения.

В случае наличия сигнальной компоненты от космического объекта в принятой реализации p_{ij} среднее значение величины $Y_{V(C+\Pi)}(\hat{n})$ является суммой средних значений сигнальной и помеховой составляющих и имеет вид:

$$\begin{aligned} \overline{Y_{V(C+\Pi)}(\hat{n})} &= N_{\Pi} T_H \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^2 dtdu \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^2 dv + N_{VC_0} T_H \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^4 dtdu \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^4 dv, \end{aligned} \quad (18)$$

или, после вычисления интегралов получаем

$$\begin{aligned} \overline{Y_{V(C+\Pi)}(\hat{n})} &= \\ &= N_{\Pi} T_H \left[\frac{4\pi^2}{cadb} + V_{из} T_H \frac{2\pi}{db} \right] + \\ &+ N_{VC_0} T_H \left[\frac{16\pi^2}{9cadb} + V_{из} T_H \frac{4\pi}{3db} \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

Дисперсия $Y_{V(C+\Pi)}(\hat{n})$ является суммой дисперсий сигнальной и помеховой составляющих и определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} D(Y_{V(C+\Pi)}(\hat{n})) &= N_{\Pi} T_H \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^4 dtdu \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^4 dv + N_{VC_0} T_H \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^{t_0+T_H} \left[\frac{\sin(c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2))}{c(u_i - u_0 + V_{из}t) \cdot (a/2)} \right]^6 dtdu \times \\ &\times \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin(d(v_j - v_0) \cdot (b/2))}{d(v_j - v_0) \cdot (b/2)} \right]^6 dv. \end{aligned} \quad (20)$$

После интегрирования получим:

$$\begin{aligned} D(Y_{V(C+\Pi)}(\hat{n})) &= \\ &= N_{\Pi} T_H \left[\frac{16\pi^2}{9cadb} + V_{из} T_H \frac{4\pi}{3db} \right] + \\ &+ N_{VC_0} T_H \left[\frac{121\pi^2}{100cadb} + V_{из} T_H \frac{11\pi}{10db} \right]. \end{aligned} \quad (21)$$

Необходимо отметить, что при $V_{из} = 0$ выражения (19) и (21) также совпадают с выражениями, полученными в [1] для среднего значения количества зарядов в аддитивной смеси сигнальной и помеховой составляющих для случая, когда оптический сигнал от космического объекта регистрируется в режиме сопровождения.

Выводы

Математическая модель сигналов в выходной плоскости астрономических телевизионных систем при регистрации сигналов от низкоорбитальных космических объектов в режиме первичного обнаружения при отсутствии априорной информации о параметрах движения объектов составлена на основе совместного использования волновых и корпускулярных свойств оптических сигналов. Модель учитывает изменения структуры сигнальной составляющей в плоскости регистрации, обусловленные движением наблюдаемого объекта и влиянием атмосферной турбулентности в дневных условиях наблюдения.

Использование корпускулярных представлений о структуре оптического излучения позволило дополнительно учесть статистические свойства сигналов, являющиеся следствием их корпускулярной структуры, что позволило более полно описать по-

лезные сигналы и помеховую составляющую в плоскости регистрации астрономических телевизионных систем.

Полученные аналитические выражения для логарифма отношения правдоподобия, средних значений и дисперсий сигнальной и помеховой составляющих для сигналов, регистрируемых в режиме обнаружения, могут быть использованы при синтезе оптимальных алгоритмов обнаружения сигналов в астрономических телевизионных системах при регистрации сигналов от низкоорбитальных космических объектов в сумеречное и дневное время.

Список литературы

1. Стрелков А.И. Алгоритмы обнаружения сигналов в оптико-электронных системах контроля космического пространства / А.И. Стрелков, Т.А. Стрелкова, А.П. Лытюга // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Х.: ХНУРЕ, 2003. – Вып. 132. – С. 7-13.
2. Лытюга А.П. Эффективность обнаружения сигналов от космических объектов в астрономических телевизионных системах в дневное время / А.П. Лытюга // Системы управления, навигации та зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ, 2007. – Вып. 3. – С. 42-46.
3. Лытюга А.П. Обработка астрономических телевизионных изображений для обнаружения космических объектов в дневное время / А.П. Лытюга // Проблемы информатики и моделирования: 2-я Междунар. науч.-техн. конф. Харьков, 28–30 нояб. 2002 г. – Х.: НТУ „ХПИ”, 2002. – С. 27.
4. Корреляционная обработка сигналов в астрономических телевизионных оптико-электронных системах / А.И. Стрелков, А.П. Лытюга, Т.А. Стрелкова, Е.И. Жилин // Расширение сотрудничества в наземных астрономических исследованиях государств Юго-восточной Европы. Изучение объектов околоземного пространства и малых тел солнечной системы: Междунар. конф. Николаев, 2006 – С. 100-102.
5. Стрелков А.И. Имитационное моделирование обнаружения низкоорбитальных космических объектов в сумеречных и дневных условиях астрономическими телевизионными системами / А.И. Стрелков, А.П. Лытюга, Т.А. Стрелкова // Съезди Українська конференція з космічних досліджень, Євпаторія, 3-8 верес. 2007 р. – Євпаторія: НЦУВКЗ, 2007. – С. 203.
6. Стрелков А.И. Особенности обнаружения оптических сигналов от космических объектов в астрономических телевизионных системах в сумеречное и дневное время / А.И. Стрелков, А.П. Лытюга, Т.А. Стрелкова // Сучасні проблеми астрономії: Міжнарод. наук. конф. Одеса, 12–18 серп. 2007 р. – Одеса: “AstroPrint”, 2007. – С. 34.
7. Стрелков А.И. Влияние радиуса корреляции атмосферных неоднородностей на обнаружительную способность оптико-электронных станций телевизионного типа при наблюдении космических объектов / А.И. Стрелков, А.П. Лытюга // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2002. – Вып. 5 (21). – С. 270-276.
8. Лытюга О.П. Эффективность выявления оптических сигналов в телевизионных системах при спостереженні низькоорбітальних космічних об'єктів в денний час / О.П. Лытюга // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУ ПС, 2009. – Вып. 4 (20). – С. 135-140.
9. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Наука, 1971. – 1108 с.
10. Стрелков А.И. Состояние и перспективы развития оптико-электронных приборов специального назначения / А.И. Стрелков, А.П. Лытюга, Т.А. Стрелкова // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития: 2-й Междунар. радиоэлектронный форум. – Харьков, 19–23 сент. 2005 г. – Х.: АН ПРЭ, ХНУРЭ, 2005. – Т. 2. – С. 469-470.

Поступила в редколлегию 11.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИГНАЛІВ У ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ ПРИ СПОСТЕРЕЖЕННІ НИЗЬКООРБІТАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ДЕННИЙ ЧАС

О.П. Лытюга

Статтю присвячено розробці математичної моделі сигналів у вихідній площині астрономічної телевізійної системи (АТС) при реєстрації оптичних сигналів від низькоорбітальних космічних об'єктів (НКО) у сутінковий та денний час. Наведені аналітичні вирази для середніх значень та дисперсій сигнальної і завадової складових відгуку фотоприймача. Математична модель може використовуватися у якості основи для розробки алгоритмів виявлення оптичних сигналів від НКО в АТС при спостереженнях в денний час.

Ключові слова: математична модель сигналів; астрономічна телевізійна система; низькоорбітальний космічний об'єкт; виявлення сигналів від космічних об'єктів; сутінкові та денні умови спостереження космічних об'єктів.

MATHEMATICAL MODEL OF SIGNALS IN TELEVISION SYSTEMS WITH LOW-ORBIT SPACE OBJECTS OBSERVATION IN DAYTIME

A.P. Lytyuga

The paper covers development of mathematical model of signals in output plane of astronomical television system (ATS) with registration of optical signals from low-orbit objects (LOO) in twilight and daytime. Analytical forms for mean values and dispersion of signal and interference components of photo receiver response are given. The mathematical model can be used as a base with detection algorithm development for optical signal from LOO in ATS with twilight and daytime observations.

Keywords: mathematical model of signals; astronomical television system; low-orbit object; detection of signals from space objects; twilight and daytime conditions of space objects observation.