

УДК 621.37:621.391

А.И. Стрелков, Т.А. Стрелкова, Е.И. Жилин, Т.В. Бутрым

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО НЕПРЕРЫВНОМУ НАКОПЛЕНИЮ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

Усовершенствована математическая модель процесса регистрации оптического излучения в телевизионной оптико-электронной системе, которая отличается от известных учетом нелинейного влияния времени накопления сигналов на вольтовую характеристику фотоприемника. На основе разработанной математической модели проведен анализ влияния внешних факторов и времени накопления оптического сигнала телевизионным приемником оптико-электронной системы на линейность его сигнальной характеристики. Получены аналитические выражения позволяющие оптимизировать процесс непрерывного накопления оптических сигналов на фотокатоде приемника в зависимости от интенсивности входного излучения. Сделаны выводы о мультипликативном характере влияния внешних помех большой интенсивности на процесс накопления сигнала и линейность вольтовой характеристики приемника оптического излучения.

Ключевые слова: оптико-электронная система, телевизионный приемник, накопление сигнала.

Введение

Мониторинг окружающего пространства по средствам технических средств наблюдения является на сегодняшний день важным инструментом во многих областях человеческой деятельности. При этом качество информации о наблюдаемых объектах и процессах, зачастую определяется характеристиками систем дистанционного наблюдения.

Таким образом, задачи анализа соответствия технических характеристик систем дистанционного наблюдения целям и условиям их применения, а так же разработка новых методов направленных на улучшение качества регистрации и обработки принимаемой информации являются актуальными.

В настоящее время, один из основных средств дистанционного наблюдения являются телевизионные оптико-электронные системы. Их широкое распространение для решения задач мониторинга окружающего пространства обусловлено, прежде всего, качеством и доступностью для восприятия получаемой информации оператором.

Важной характеристикой таких систем является динамический диапазон, указывающий на меру способности устройства нормально функционировать по определенному критерию в условиях воздействия на его вход сигналов с большим разбросом мощностей [1, 2].

В телевизионных оптико-электронных системах применяемых для наблюдения объектов и процессов в окружающем пространстве динамический диапазон приобретает еще большее значение. Это обусловлено тем, что при приеме и регистрации изображений в условиях естественной освещенности изменение амплитуды принимаемого сигнала может изменяться в большом диапазоне, как в течении суток (за счет изменения условий освещенности), так и в достаточно малых временных интерва-

лах (за счет неравномерной освещенности отдельных объектов). Вероятность же одновременного воздействия на вход приемника оптического излучения сигналов с различными амплитудами возрастает при увеличении угла поля зрения телевизионной оптико-электронной системы [2, 3].

В свою очередь, сложность анализа динамического диапазона телевизионной оптико-электронной системы обуславливается большим количеством факторов характерных для оптических, оптико-электронных и электронных устройств входящих в ее состав. В данной статье будут рассмотрены вопросы влияния времени накопления оптических сигналов в плоскости фотоприемника на его динамический диапазон при условии воздействия на его вход аддитивных помех в широком диапазоне их интенсивностей.

Математическая модель

В качестве физической основы для математического моделирования процесса фотодетектирования рассмотрим физическую модель телевизионного приемника оптического излучения в виде последовательности элементарных ячеек разрешения фотокатода с последовательным считыванием, предложенную и рассмотренную авторами в [4]. Принципиальная схема такого приемника представлена на рис. 1 [5].

Как видно из рис. 1, каждая ячейка приемника представлена интегрирующей RC цепочкой, заряд которой осуществляется за счет коммутирующего устройства, схема которого зависит от типа применяемого фотоприемника. Полезная информация о мощности регистрируемого оптического сигнала, в данном случае содержится в величине падения напряжения $U_0 - U_c$ на эквивалентной емкости C , обусловленным воздействием светового потока на фотопластину за время накопления T . В результате на

выходе фотоприемника получается напряжение $U_{C_{\text{ЭКВ.}}}$ содержащее в себе помеховую $U_{\text{п}}$, темновую $U_{\text{т}}$ и сигнальную $U_{\text{с}}$ составляющие (рис. 2).

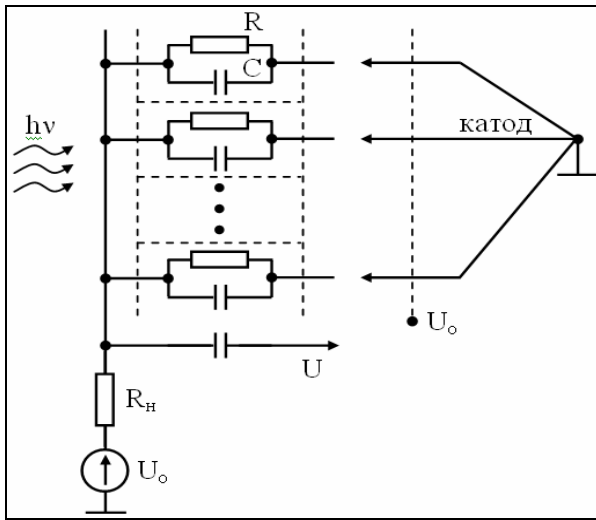


Рис. 1. Принципиальная схема приемника

Величина напряжения на выходе приемника оптического излучения $U_{C_{\text{ЭКВ.}}}$, согласно [5, 6] определяется выражением

$$U_{C_{\text{ЭКВ.}}} = U_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{T}{RC}\right) \right], \quad (1)$$

где U_0 – опорное напряжение фотокатода; T – время накопления оптического сигнала; R – эквивалентное сопротивление ячейки; C – эквивалентная емкость ячейки.

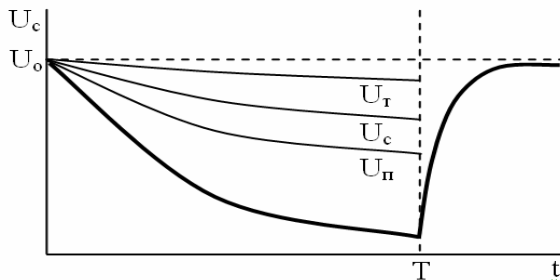


Рис. 2. Напряжение на выходе фотоприемника

Эквивалентное сопротивление ячейки фотокатода пропорционально темновому сопротивлению $R_{\text{т}}$, как

$$R = \frac{R_{\text{т}}}{1 + \gamma P_{\text{с}} + \gamma P_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где γ – коэффициент пропорциональности; $P_{\text{с}}, P_{\text{п}}$ – мощность сигнала и фоновой аддитивной помехи, соответственно, поступающих на вход приемника оптического излучения.

С учетом (2) запишем для (1)

$$U_{C_{\text{ЭКВ.}}} = U_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{T(1 + \gamma P_{\text{с}} + \gamma P_{\text{п}})}{R_{\text{т}}C}\right) \right] \quad (3)$$

$$\text{или } U_{C_{\text{ЭКВ.}}} = U_0 \left[1 - e^{-\frac{T}{R_{\text{т}}C} e^{-\frac{T\gamma P_{\text{с}}}{R_{\text{т}}C}} e^{-\frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C}} \right].$$

Исходя из условия слабого излучения регистрируемого приемником

$$\frac{T\gamma P_{\text{с}}}{R_{\text{т}}C} \ll 1 \quad (4)$$

для сигнальной

$$\frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C} \ll 1 \quad (5)$$

и помеховой составляющих, с учетом известного приближения вида [7]

$$e^{-x} \approx 1 - x, \text{ при } x \ll 1 \quad (6)$$

запишем для (3)

$$U_{C_{\text{ЭКВ.}}} = U_0 \left[\frac{T}{R_{\text{т}}C} + \frac{T\gamma P_{\text{с}}}{R_{\text{т}}C} + \frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C} \right]. \quad (7)$$

Сигнальную $U_{\text{с}}$, помеховую $U_{\text{п}}$ и темновую $U_{\text{т}}$ составляющие напряжения на выходе фотоприемника, как видно из (7), можно записать как

$$U_{\text{с}} = U_0 \frac{T\gamma P_{\text{с}}}{R_{\text{т}}C}; \quad (8)$$

$$U_{\text{п}} = U_0 \frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C}; \quad (9)$$

$$U_{\text{т}} = \frac{T}{R_{\text{т}}C}. \quad (10)$$

С учетом (8) – (10) выражение (7) приобретает простой вид

$$U_{C_{\text{ЭКВ.}}} = U_{\text{с}} + U_{\text{п}} + U_{\text{т}}. \quad (11)$$

Однако, на практике более часто встречается ситуация регистрации слабого сигнала на фоне аддитивной помехи большой мощности. В этом случае условие (5) нарушается и выражение для расчета величины напряжения на выходе приемника оптического излучения не может быть использовано в виде (7) или (10). Для описываемого условия

$$\frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C} \geq 1 \quad (12)$$

и с учетом верности (6) для (4), выражение (3) можно представить в виде

$$U_{C_{\text{ЭКВ.}}} = U_0 \left[1 - \left(1 - \frac{T}{R_{\text{т}}C} \right) \left(1 - \frac{T\gamma P_{\text{с}}}{R_{\text{т}}C} \right) e^{-\frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C}} \right]. \quad (13)$$

Проведя преобразование и пренебрегая членами малого порядка окончательно для (13) получим (14)

$$U_{C_{\text{ЭКВ.}}} = U_0 - U_0 e^{-\frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C}} + U_0 \frac{T}{R_{\text{т}}C} e^{-\frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C}} + U_0 \frac{T\gamma P_{\text{с}}}{R_{\text{т}}C} e^{-\frac{T\gamma P_{\text{п}}}{R_{\text{т}}C}}. \quad (14)$$

Очевидно, что для данного случая составляющие напряжения на выходе фотоприемника будут

$$U_c = U_0 \frac{T\gamma P_c}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_{\Pi}}{R_T C}}, \quad (15)$$

$$U_{\Pi} = U_0 e^{-\frac{T\gamma P_{\Pi}}{R_T C}}, \quad (16)$$

$$U_T = U_0 \frac{T}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_{\Pi}}{R_T C}}. \quad (17)$$

Выражения (3), (7) – (10) и (14) – (17) описывают величину напряжения на выходе приемника в зависимости от мощности входного воздействия и параметров накопления оптического излучения и представляют собой математическую модель процесса фотодетектирования для различных условий работы фотоприемника (4), (5), (12).

Анализ результатов

Анализ математической модели проведем для описанных условий регистрации оптического сигнала и помехи с учетом основных положений теории оптико-электронных систем и обработки оптических сигналов.

Как, видно из приведенных выражений (3) и (7), при регистрации слабого сигнала на фоне аддитивной помехи малой мощности (4), (5) процесс их регистрации фотоприемником можно считать линейным.

Данное условие позволяет использовать для синтеза алгоритмов их обработки условие суперпо-

зиции, что в свою очередь, как показано в [8, 9], значительно упрощает процедуру выделения полезной составляющей принимаемого оптического излучения из аддитивной смеси «сигнал + помеха».

Действительно, как видно из рис. 3, а, вольтовая характеристика фотоприемника в данном случае является линейной, что позволяет говорить о возможности обработки сигналов при любом времени их регистрации или, что эквивалентно – в широком диапазоне их мощностей.

Регистрация сигнала на фоне сильной помехи приводит к нарушению условия (5) и заставляет отказаться от использования линейной модели при описании процесса фоторегистрации. В этом случае, как видно вольтовой характеристики фотоприемника (рис. 3, б) линейность процесса фоторегистрации сохранится в достаточно малом диапазоне входных воздействий и не позволяет накапливать сигнал на большом временном интервале.

Кроме того, в этом случае наблюдается качественное изменение взаимодействия сигнал и помехи – возникновению дополнительной, мультипликативной связи между помехой и сигналом (14). Анализ выражений (15) – (17) говорит о соответствующем, мультипликативном влиянии помеховой составляющей на темновую и сигнальную составляющие. Интересно, что в данном случае зависимость величины сигнальной составляющей напряжения на выходе фотоприемника от времени регистрации сигнала описывается унимодальной функцией, которая имеет максимум соответствующий оптимальному времени регистрации сигнала (рис. 4).

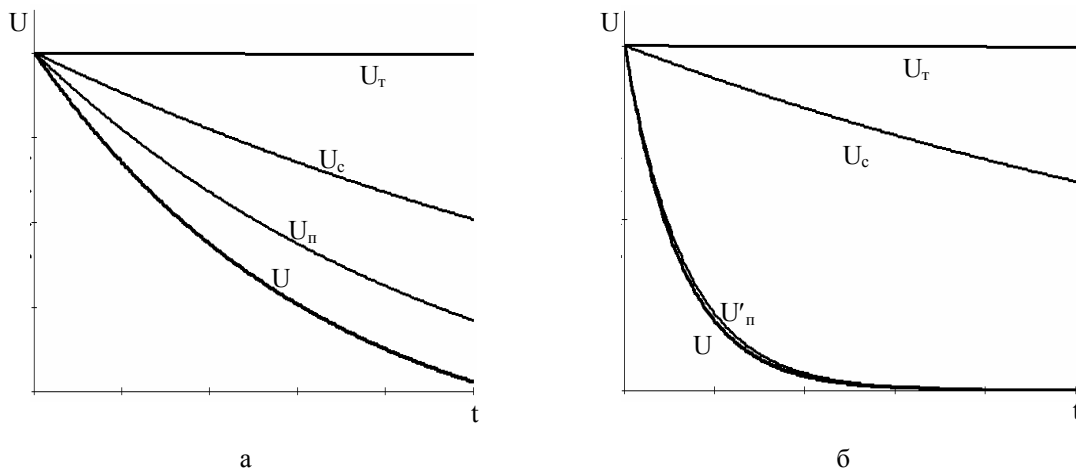


Рис. 3. Сравнение результатов

Анализ полученных результатов с точки зрения дуализма физических свойств и процесса взаимодействия оптического излучения с приемником позволяет предположить инвариантность рассмотренных факторов накопления сигнала к физическим принципам положенных в основу его описания. А именно, описываемые явления мульт-

типликативных искажений сигнала, обусловленные увеличением аддитивной составляющей регистрируемого излучения будут верны как для случая корпускулярного, так и для случая волнового характера взаимодействия оптического излучения с фотоприемником телевизионной оптико-электронной системы.

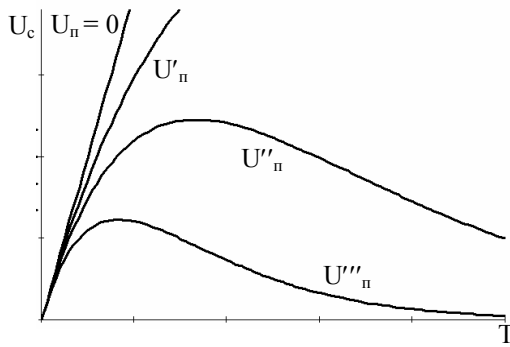


Рис. 4. Зависимость величины сигнальной составляющей напряжения на выходе фотоприемника от времени регистрации сигнала

Выводы

Обобщая полученные в работе результаты теоретических исследований можно прийти к таким выводам:

– при воздействии на фотоприемник оптических сигналов малой мощности процесс их регистрации можно считать линейным, что позволяет синтезировать их алгоритмы обработки с использованием условия суперпозиции;

– увеличение мощности помеховой составляющей принимаемой аддитивной смеси «сигнал+помеха» приводит к появлению мультипликативных искажений сигнала и описывается нелинейной математической моделью второго порядка;

– увеличение мощности принимаемого оптического излучения приводит к вынужденному уменьшению времени регистрации сигнала;

– при достаточной мощности помехи зависимость величины напряжения сигнала от величины времени его накопления имеет явно выраженный максимум, наличие которого объясняется влиянием

мультипликативной составляющей и может быть использовано для выбора оптимального времени регистрации сигнала (экспозиции);

– наличие аддитивной помехи большой мощности вводит ограничения по применению методов непрерывного накопления сигнала, однако в данном случае могут быть использованы методы дискретного накопления и статистической обработки оптических сигналов по n кадрам.

Список литературы

1. Гальярди Р.М. *Оптическая связь: пер. с англ.* / Р.М. Гальярди, Ш. Карп. – М.: Связь, 1978. – 424 с.
2. Воробьев В.И. *Оптическая локация для радионженеров* / В.И. Воробьев. – М.: Радио и связь, 1983. – 176 с.
3. Клаудер Р. Джон, Сударшан Э.К.Г. *Основы квантовой оптики..* – М. *Иностранная литература*, 1975. – 430 с.
4. Анализ влияния времени накопления оптических сигналов на динамический диапазон АОАС РС / А.И. Стрелков, Т.А. Стрелкова, Е.И. Жилин, А.П. Лытюга, В.В. Карнаух // *Системи обробки інформації*. – Х.: ПУПС, 2009. – Вип. 4(78). – С. 2-5.
5. *Оптическая локация. Теоретические основы приема и обработки оптических сигналов* / под ред. А.И. Стрелкова. – Х.: Апостроф, 2010. – 312 с.
6. Заказов Н.П. *Теория оптических систем* / Н.П. Заказов. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.
7. Мазманишвили А.С. *Численные методы* / А.С. Мазманишвили. – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – 275 с.
8. Левин Б.Р. *Теоретические основы статистической радиотехники* / Б.Р. Левин. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
9. Мудров В.И. *Методы обработки измерений* / В.И. Мудров, В.Л. Кушко. – М.: Радио и связь, 1983. – 304 с.

Поступила в редколлегию 10.10.2011

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

АНАЛІЗ ЧАСОВИХ ОБМЕЖЕНЬ БЕЗПЕРЕРВНОГО НАКОПИЧЕННЯ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ В ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОНИХ СИСТЕМАХ

О.І. Стрелков, Т.О. Стрелкова, Є.І. Жилін, Т.В. Бутрим

Вдосконалено математичну модель процесу реєстрації оптичного випромінювання і телевізійній оптико-електронній системі, яка відрізняється від відомих врахуванням нелінійного впливу часу накопичення сигналів на вольтову характеристику фотоприймача. На основі математичної моделі проведено аналіз впливу зовнішніх факторів та часу накопичення оптичного сигналу телевізійним приймачем оптико-електронної системи на лінійність його сигнальної характеристики. Отримані аналітичні вирази, які дозволяють оптимізувати процес безперервного накопичення сигналів на фотокатоді приймача в залежності від інтенсивності вхідного випромінювання. Зроблено висновки про мультиплікативний характер впливу зовнішніх перешкод великої інтенсивності на процес накопичення сигналу та лінійність вольтової характеристики приймача оптичного випромінювання.

Ключові слова: оптико-електронна система, телевізійний приймач, накопичення сигналу.

ANALYSIS OF THE TIME LIMITS CONTINUOUS ACCUMULATION OF OPTICAL SIGNALS IN TELEVISION OPTOELECTRONIC SYSTEMS

A.I. Strelkov, T.A. Strelkova, E.I. Zhilin, T.V. Butrym

Improved mathematical model for the registration of optical radiation in the television-term optical-electronic system, which differs from the known into account the nonlinear effect of the Ad-Hoc accumulation of signals on the volt characteristic of the photodetector. Based on the elaboration of mathematical models analyzed the influence of external factors and the accumulation time of the optical signal-those television receiver opto-electronic system of the linearity of its signal characteristics. Analytical expressions to optimize the process of continuous accumulation of optical signals on the photocathode of the receiver, depending on the intensity of radiation. Conclusions about the nature of the multiplicative effect of external noise of high intensity on the accumulation of the signal and the linearity of the voltaic receiver characteristics of optical radiation.

Keywords: optical-electronic system, a television receiver, the signal accumulation.