

УДК 621.396.62

А.И. Стрелков<sup>1</sup>, Т.А. Стрелкова<sup>2</sup>, Е.И. Жилин<sup>1</sup>, В.В. Карнаух<sup>3</sup>, А.П. Лытюга<sup>4</sup><sup>1</sup> Харьковський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Українська інженерно-педагогічна академія, Харків<sup>3</sup> Спеціальне конструкторське бюро радіотехнічних пристроїв  
Государственной акционерной холдинговой компании «Топаз», Донецьк<sup>4</sup> Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ НАКОПЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН АКУСТООПТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА РАДИОСИГНАЛОВ

Разработана математическая модель приемника оптического излучения акустооптического анализатора спектра радиосигналов с учетом нелинейного влияния времени накопления сигналов на его вольтовую характеристику. Проведен анализ влияния времени накопления оптического сигнала на динамический диапазон приемника оптического излучения и устройства акустооптического преобразования радиосигналов в целом, в зависимости от интенсивности внешних и внутренних шумов (помех). Сделаны выводы о мультипликативном характере влияния внешних помех большой интенсивности на процесс накопления сигнала и линейность вольтовой характеристики приемника оптического излучения.

**Ключевые слова:** акустооптический анализатор спектра радиосигналов, динамический диапазон, накопление оптических сигналов, математическая модель приемника оптического излучения.

### Введение

Радиочастотный мониторинг является на сегодняшний день важным инструментом достижения эффективности в использовании национального радиочастотного ресурса. При этом качество радиочастотного мониторинга зачастую определяется наличием средств спектрального анализа и панорамного анализа радиосигналов, соответствующих современным требованиям и удовлетворяющих условиям электромагнитной обстановки в районе применения.

Таким образом, задачи анализа соответствия тактико-технических характеристик средств радиочастотного анализа современному состоянию электромагнитной обстановки, а также разработка новых методов, направленных на улучшение качества спектрального анализа радиосигнала, являются актуальными [1].

В настоящее время, одним из перспективных классов средств радиочастотного мониторинга являются акустооптические анализаторы спектра радиосигналов. Их широкое распространение для решения задач радиочастотного мониторинга обусловлено сочетанием в них свойств устройств панорамного приема и спектрального анализа радиосигналов.

Важной характеристикой средств радиочастотного мониторинга, в том числе и акустооптических анализаторов спектра является динамический диапазон, указывающий на меру способности устройства нормально функционировать по определенному критерию в условиях воздействия на его вход сигналов с большим разбросом мощностей [2].

В акустооптических анализаторах спектра, как панорамных устройствах, динамический диапазон приобретает еще большее значение. Это обусловлено тем, что при панорамном приеме и анализе спектров различие амплитуд отдельных составляющих может быть очень велико. Вероятность же одновременного воздействия на вход устройства сигналов с различными уровнями возрастает в следствие широкости приемного устройства [2 – 4].

В свою очередь, сложность анализа динамического диапазона акустооптического анализатора спектра обуславливается различной физической природой устройств входящих в его состав, а именно радиотехнических и оптико-электронных.

В данной статье будут рассмотрены вопросы влияния времени накопления оптических сигналов акустооптического анализатора спектра на динамический диапазон его фотоприемника при условии воздействия на его вход аддитивных помех в широком диапазоне мощностей.

### Синтез математической модели

В качестве физической основы для математического моделирования процесса фотодетектирования рассмотрим физическую модель приемника оптического излучения в виде последовательности элементарных ячеек разрешения фотокатода с последовательным считыванием. 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  $T$ .

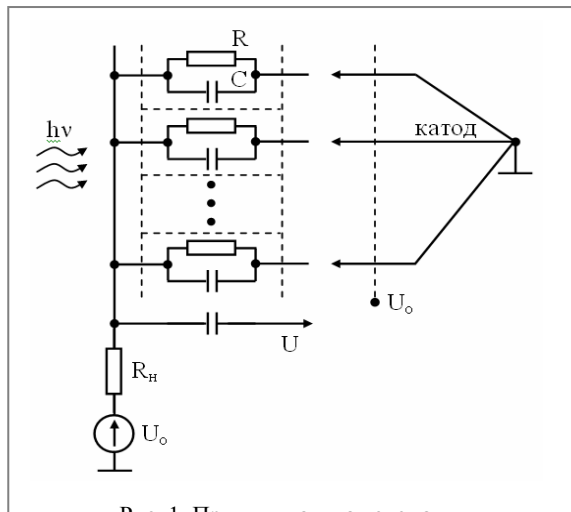


Рис. 1. Принципиальная схема

В результате на выходе фотоприемника получается напряжение  $U$ , содержащее в себе помеховую  $U_{п}$ , темновую  $U_T$  и сигнальную  $U_c$  составляющие (рис. 2).

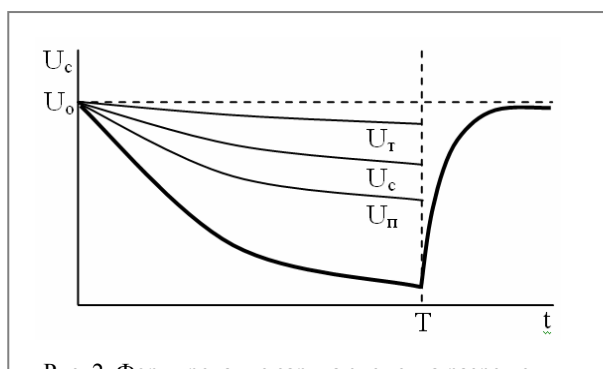


Рис. 2. Формирование заряда элемента разрешения

Величина напряжения на выходе приемника оптического излучения  $U$ , согласно [5, 6] определяется выражением

$$U = U_0 \left[ 1 - e^{-\frac{T}{RC}} \right], \quad (1)$$

где  $U_0$  – опорное напряжение фотокатода;

$T$  – время накопления оптического сигнала;

$R$  – эквивалентное сопротивление ячейки;

$C$  – эквивалентная емкость ячейки.

Эквивалентное сопротивление ячейки фотокатода пропорционально темновому сопротивлению  $R_T$ :

$$R = \frac{R_T}{1 + \gamma P_c + \gamma P_{п}}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности;

$P_c, P_{п}$  – мощность сигнала и фоновой аддитивной помехи соответственно, поступающих на вход приемника оптического излучения.

С учетом (2) запишем для (1):

$$U = U_0 \left[ 1 - e^{-\frac{T(1 + \gamma P_c + \gamma P_{п})}{R_T C}} \right] \quad (3)$$

или

$$U = U_0 \left[ 1 - e^{-\frac{T}{R_T C}} e^{-\frac{\gamma P_c T}{R_T C}} e^{-\frac{\gamma P_{п} T}{R_T C}} \right].$$

Исходя из условия слабого излучения, регистрируемого приемником

$$\frac{\gamma P_c T}{R_T C} \ll 1 \quad (4)$$

для сигнальной

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

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

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

запишем для (3):

$$U = U_0 \left[ \frac{T}{R_T C} + \frac{\gamma P_c T}{R_T C} + \frac{\gamma P_{п} T}{R_T C} \right]. \quad (7)$$

Сигнальную  $U_c$ , помеховую  $U_{п}$  и темновую  $U_T$  составляющие напряжения на выходе фотоприемника, как видно из (7), можно записать как

$$U_c = U_0 \frac{\gamma P_c T}{R_T C}, \quad (8)$$

$$U_{п} = U_0 \frac{\gamma P_{п} T}{R_T C}, \quad (9)$$

$$U_T = \frac{T}{R_T C}. \quad (10)$$

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

$$U = U_c + U_{п} + U_T. \quad (11)$$

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

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

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

$$U = U_0 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{T}{R_T C} \right) \left( 1 - \frac{\gamma P_c T}{R_T C} \right) e^{-\frac{\gamma P_{п} T}{R_T C}} \right]. \quad (13)$$

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

$$U = U_0 - U_0 e^{-\frac{T\gamma P_n}{R_T C}} + U_0 \frac{T}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_n}{R_T C}} + U_0 \frac{T\gamma P_c}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_n}{R_T C}}.$$

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

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

$$U_n = U_0 e^{-\frac{T\gamma P_n}{R_T C}}, \quad (16)$$

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

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 математической модели

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 суперпозиции, 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.

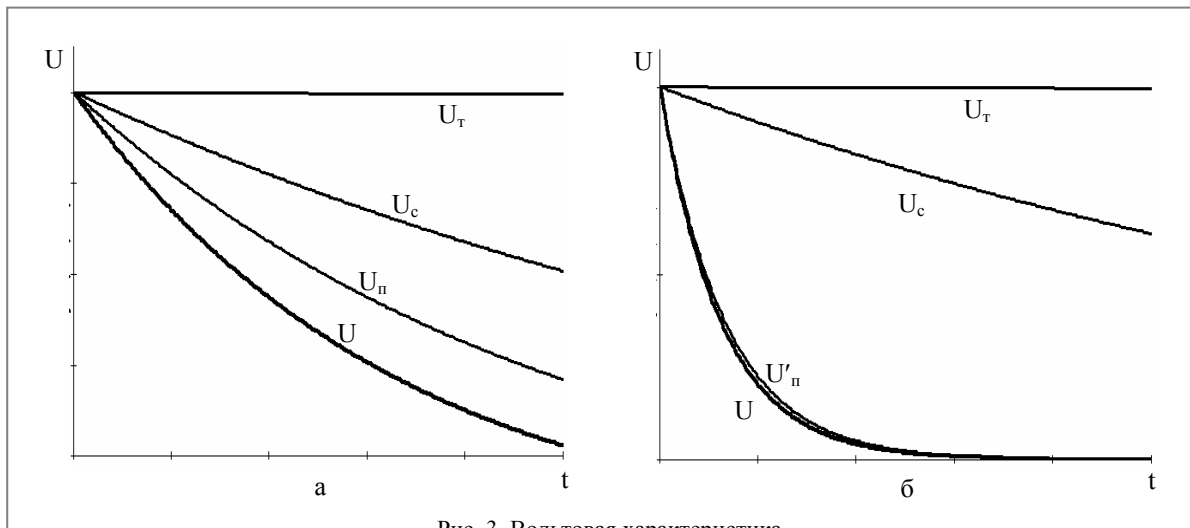


Рис. 3. Вольтовая характеристика

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 сохраняется в достаточно малом диапазоне входных воздействий и не позволяет накапливать сигнал на большом временном интервале.

Кроме того, в этом случае наблюдается качественное изменение взаимодействия сигнала и помехи – возникновение дополнительной, мультипликативной связи между помехой и сигналом (14). Анализ выражений (15) – (17) указывает о соответствующем, мультипликативном влиянии помеховой составляющей на темновую и сигнальную составляющие. Ин-

тересно, 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).

### Выводы

Полученные в работе результаты математического моделирования процесса фоторегистрации позволяют сделать следующие выводы:

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

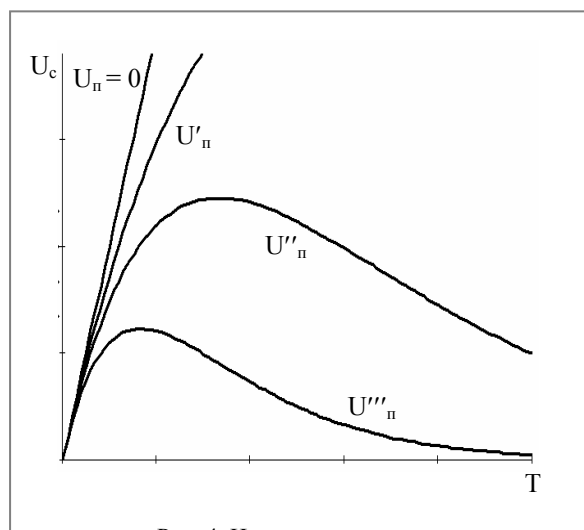


Рис. 4. Накопление сигнала

– 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. Офіційне інтернет-представництво Українського державного центру радіочастот «Центр «Укрчастотнагляд». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [www.ucrf.dov.ua/uk/press](http://www.ucrf.dov.ua/uk/press).

2. Мартынов В.А. Панорамные приемники и анализаторы спектра / В.А. Мартынов, Ю.И. Селихов; под ред. Г.Д. Заварина. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1980. – 352 с.

3. Магдич Л.М. Акустооптические устройства и их применение / Л.М. Магдич, В.Я. Молчанов. – М.: Сов. радио, 1978. – 112 с.

4. Барсов В.И. Анализ электромагнитной обстановки на техногенных объектах сложной пространственной структуры / В.И. Барсов, Т.А. Стрелкова, Е.И. Жилин, А.С. Калмыков // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 8 (57). – С. 93-95.

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

6. Заказнов Н.П. Теория оптических систем / Н.П. Заказнов. – 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 28.05.2009

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

### АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЧАСУ НАКОПИЧЕННЯ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ДИНАМІЧНИЙ ДІАПАЗОН АКУСТООПТИЧНОГО АНАЛІЗАТОРА СПЕКТРУ РАДІОСИГНАЛІВ

О.І. Стрелков, Т.О. Стрелкова, Є.І. Жилин, В.В. Карнаух, О.П. Литюга

Синтезована математична модель приймача оптичного випромінювання акустооптичного аналізатора спектру радіосигналів з урахуванням нелінійного впливу часу накопичення сигналів на його вольтову характеристику. Проведено аналіз впливу часу накопичення оптичного сигналу на динамічний діапазон приймача оптичного випромінювання та пристрою акустооптичного перетворення радіосигналів в цілому, в залежності від інтенсивності зовнішніх і внутрішніх шумів (перешкод). Зроблено висновки про мультипликативний характер впливу зовнішніх перешкод великої інтенсивності на процес накопичення сигналу і лінійність вольтової характеристики приймача оптичного випромінювання.

**Ключові слова:** акустооптичний аналізатор спектру радіосигналів, динамічний діапазон, накопичення оптичних сигналів, математична модель приймача оптичного випромінювання.

### ANALYSIS OF INFLUENCING TIME OF ACCUMULATION OF OPTIC SIGNALS ON THE DYNAMIC RANGE OF ACOUSTIC-OPTICAL ANALYZER OF SPECTRUM OF RADIO SIGNALS

A.I. Strelkov, T.A. Strelkova, E.I. Zhilin, V.V. Karnauh, A.P. Lytuga

A mathematical model of receiver of optical radiation of acoustic-optical analyzer of spectrum of radio signals taking into account the nonlinear influencing is synthesized time of accumulation of signals on his volt description. An analysis of influencing time of accumulation of visual signal on the dynamic range of receiver of optical radiation and device of acoustic-optical transformation of radio signals is conducted on the whole, depending on intensity of external and inlying noises (hindrances). Inferences are done about the multiplication nature of influence of external noises of large intensity on the signal accumulation process and linear of volt description of receiver of optical radiation.

**Keywords:** acoustic-optical analyzer of spectrum of radio of signals, dynamic range, accumulation of visual signals, mathematical model of receiver of optical radiation.