

11. Durrani, S. M. A. Investigation of the Carbon Monoxide Gas Sensing Characteristics of Tin Oxide Mixed Cerium Oxide Thin Films [Text] / S. M. A. Durrani, M. F. Al-Kuhaili, I. A. Bakhtiari // Sensors. – 2012. – С. 2598-2609.
12. O'Toole, M. Absorbance Based Light Emitting Diode Optical Sensors and Sensing Devices [Text] / M. O'Toole, D. Diamond // Sensors. – 2008. – С. 2453-2479.
13. Po-Chien, C. Enhancement of Optical Adaptive Sensing by Using a Dual-Stage Seesaw-Swivel Actuator with a Tunable Vibration Absorber [Text] / C. Po-Chien, L. Yu-Cheng, C. Stone // Sensors. – 2011. – С. 4808-4829.
14. Hung-Yi, C. Model-Free Adaptive Sensing and Control for a Piezoelectrically Actuated System [Текст] / C. Hung-Yi, L. Jin-Wei // Sensors. – 2010. – С. 10545-10559.
15. Jinsoo, J. An Innovations-Based Noise Cancelling Technique on Inverse Cepstrum Whitening Filter and Adaptive FIR Filter in Beamforming Structure [Text] / J. Jinsoo // Sensors. – 2011. – С. 6816-6841.
16. Костенко, В. Л. Измерительные преобразователи на основе комбинированных твердотельных структур: научное издание [Текст] / В. Л. Костенко, Е. Я. Швец, Е. Н. Киселев, Н. А. Омельчук. – Запорожье: ЗГИА, 2001.- 101 с.
17. Fine, G. F. Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring [Text] / G. F. Fine, L. M. Cavanagh, A. Afonja // Sensors. – 2010. – С. 5469-5502.
18. Микропроцессоры. Средства сопряжения. Контролирующие и информационно-управляющие системы [Текст]: учеб. для техн. вузов / В. Д. Вернер, Н. В. Воробьев, А. В. Горячев [и др.]; под общ. ред. Л. Н. Преснухина. – Минск : Вышэйшая школа, 1987. – 303 с.
19. Паталаха, А. С. Розробка моделі адаптивної корекції системи визначення концентрації монооксиду вуглецю [Текст] / А. С. Паталаха, Є. М. Кисельов // Матеріали XVIII науково – технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Електроніка, автоматизовані системи та сучасні інформаційні технології. Том III, 15-19 квітня 2013 р. – Запоріжжя: ЗДІА, – 2013. – С. 22.

Розглянуто статистичні характеристики вихідних сигналів оптико-телевізійних систем з обмеженим динамічним діапазоном з урахуванням взаємодії вхідного випромінювання з оптичною ланкою. Використано модель α -стійких процесів. Проаналізовані граничні розподілення вихідних сигналів на приналежність областям тяжіння нормального та стійких законів з характеристичним показником α . Експериментально перевірено асимптотичну поведінку функції розподілу вихідних сигналів оптико-телевізійних систем, обґрунтовано застосування узагальнених граничних теорем

Ключеві слова: оптико-телевізійні систем, флуктуації сигналу, α -стійкі процеси, граничні розподілення

Рассмотрены статистические характеристики выходных сигналов оптико-телевизионных систем в условиях ограниченного динамического диапазона с учетом взаимодействия входного излучения с оптическим звеном. Использована модель α -устойчивых процессов. Проанализированы предельные распределения выходных сигналов на принадлежность областям притяжения нормального и устойчивых законов с характеристическим показателем α . Экспериментально проверено асимптотическое поведение функции распределения выходных сигналов оптико-телевизионных систем, обоснована применимость обобщенных предельных теорем

Ключевые слова: оптико-телевизионные системы, флуктуации сигнала, α -устойчивые процессы, предельные распределения

УДК 621.37:621.391

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ОПТИКО- ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

Т. А. Стрелкова

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра основ радиотехники
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 16, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: strelkova_t@ukr.net

1. Введение

Оптико-электронные системы находят широкое применение при решении задач наблюдения в раз-

личных условиях освещенности от единиц квантов (при регистрации сверхслабого излучения) до -27 звездной величины (при регистрации оптического излучения Солнца). В настоящий момент

имеет место противоречие между перспективами развития систем (современными возможностями существующих систем) и априорной информацией о характеристиках объектов наблюдения. Расширение динамического диапазона в сторону регистрации сильных сигналов и обеспечение приема сигналов на фоне сильных помех позволит разрешить эти противоречия.

Одним из главных факторов, влияющих на ограниченность динамического диапазона оптико-электронных систем, являются технические характеристики фотоприемных устройств, входящих в состав систем.

Расширение динамического диапазона оптико-электронных систем, вплоть до третьего поколения, достигается путем совершенствования технологий создания фотоприемных устройств и оптических звеньев [1].

При регистрации оптического излучения интенсивностью 10^n лк для согласования динамического диапазона фотоприемного устройства оптико-электронных систем в состав оптического звена необходимо включать ослабители (нейтральные и спектральные фильтры).

Включая в оптико-телевизионную систему дополнительные элементы, необходимо пересмотреть математическую модель системы, которая объединяет в себе законы функционирования всех выбранных структурных частей.

Качество математических моделей системы и границы ее применимости зависят от того, насколько полно в ней учтены факторы, характеризующие условия работы системы и параметры регистрируемых сигналов.

Анализируя границы применимости математической модели систем, целесообразно использовать различные критерии оценки эффективности оптико-телевизионных систем. К таким критериям можно отнести: величину отношения сигнал/шум, условные вероятности правильного обнаружения сигналов и ложной тревоги, которые определяются на основе принятой статистической модели выходных сигналов.

Исследования, представленные в [2, 3] и опыт научно-прикладных исследований, проводимых автором, показывают, что при использовании ослабителей в составе оптического звена, статистические характеристики выходных сигналов не под-

чиняются общепринятой пуассоновской и гауссовой статистике.

Это приводит к значительным ошибкам при оценке эффективности системы по известным критериям.

Соответственно возникает необходимость пересмотра математической модели системы на основе анализа влияния дополнительных элементов, влияющих на формирование выходных сигналов в системах, и усовершенствования статистической модели выходных сигналов.

2. Анализ литературных данных

Изучению статистических свойств и моделей выходных сигналов оптико-электронных систем, последетекторным методам обработки уделяется большое внимание [4 – 6].

В процессе формирования выходного сигнала оптико-телевизионной системы (рис. 1), на вход оптического звена (линзы, ослабители) поступает аддитивная смесь полезного сигнала и фонового излучения, которая собирается объективом и регистрируется фотоприемником.

Фотоприемник преобразует принятое излучение в пространственно-временное распределение зарядов внутри фоточувствительного слоя. В процессе преобразования в электронном тракте к аддитивной смеси полезного и фонового излучения добавляются шумы фотоприемного устройства. На вход устройства после детекторной обработки подается массив данных, представляющий отклик фоточувствительных элементов на интенсивность оптического излучения.

Этот массив представляется в виде суммы независимых случайных величин, характеризующих сигнальную и фоновую составляющие. Затем анализируются статистические характеристики генеральной совокупности откликов. Выходные сигналы обрабатываются на основе выбранной статистической модели и определяются критерии эффективности системы.

При расчете одного из важнейших критериев эффективности системы – величины отношения сигнал/шум учитываются статистические характеристики выходных сигналов, на которые оказывают влияние все структурные элементы системы.

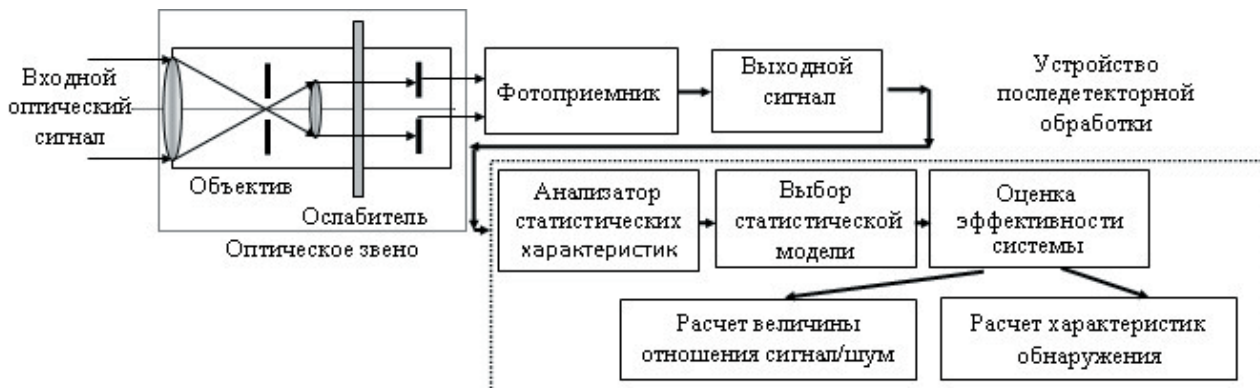


Рис. 1. Структурная схема оптико-телевизионной системы

Фотоприемник. Преобразование фоточувствительным элементом оптического излучения, прошедшего оптическое звено в электрический сигнал, описывается с позиции корпускулярной теории. При составлении статистических моделей выходных сигналов принято считать, что физические и статистические характеристики принимаемого оптического сигнала при взаимодействии с фоточувствительным элементом подчиняются пуассоновской, субпуассоновской и гауссовой статистике.

Оптическое звено. Преобразование оптического излучения оптическим звеном можно описать с позиции геометрической оптики, волновой или корпускулярной теории света. При описании взаимодействия оптического излучения с оптическим звеном с позиции волновой теории света ослабители рассматриваются как линейный элемент, не влияющий на статистические характеристики выходного сигнала [7]. Коэффициент ослабления нейтрального фильтра не оказывает влияния на критерии оценки качества системы, в частности на величину отношения сигнал/шум.

При описании взаимодействия с позиции корпускулярной теории света, свет представляется как поток дискретных частиц (фотонов). Использование фотонного представления оптического излучения позволяет описать явления, имеющие вероятностный характер, например, поглощения в нейтральных фильтрах, и, следовательно, учесть изменение статистических характеристик выходных сигналов на основе пуассоновской и гауссовой статистики [2 – 4, 8].

Вероятностный характер процесса ослабления входного сигнала оптическими элементами учтен при расчете величины отношения сигнал/шум ϕ . Коэффициент ослабления учитывается как детерминированный параметр [9]:

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{k}} \frac{\bar{Y}_{1+}(x) - \bar{Y}(x)}{\sqrt{\{D(Y_{1+}(x)) + D(Y(x))\}}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент ослабления;

$\bar{Y}_{1+}(x)$ – среднее значение аддитивной смеси сигнала и помехи;

$\bar{Y}(x)$ – среднее значение помеховой составляющей;

$D(Y_{1+}(x))$ и $D(Y(x))$ – дисперсии аддитивной смеси сигнала и помех и помеховой составляющей соответственно.

Однако анализ экспериментальных данных (ниже раздел экспериментальные исследования) по регистрации, обработке результатов в оптико-телевизионных системах, использующих нейтральные фильтры (ослабители), показывает, что наблюдаются аномальные пространственно-временные и энергетические изменения выходных сигналов по отношению к входным. Статистика выходных сигналов при этом характеризуется большими значениями вероятности, отличающиеся от рассчитанных, в соответствии с принятыми гауссовой и пуассоновской моделями, учитывающими взаимодействие входного оптического сигнала с оптическим звеном и фоточувствительными элементами.

Следовательно, расширение возможностей оптико-телевизионных систем с ограниченным динамическим диапазоном возможно только при описании преобразования оптического поля в носители электрического тока с более точным учетом влияния элементов оптического звена, и коэффициент ослабления необходимо рассматривать как стохастический параметр.

Целью работы является описание статистических свойств выходных сигналов оптико-телевизионных систем, учитывающее стохастический характер взаимодействия входного излучения с оптическим звеном в условиях ограниченного динамического диапазона с использованием устойчивых законов распределения с «тяжелыми хвостами».

3. Экспериментальные исследования процесса взаимодействия входного потока с оптическим звеном системы. Исследование статистических характеристик выходного потока

Цель эксперимента. Изучение влияния ослабителей на статистические характеристики выходных сигналов оптико-телевизионных систем.

На вход оптико-телевизионной системы подавался оптический сигнал, интенсивность которого регистрировалась фотоприемным устройством в диапазоне от 0 до 255 градаций яркости. Использовался некогерентный источник оптического излучения, нейтральные фильтры для согласования динамического диапазона. Исследовались, покадрово, видеофрагменты с частотой записи 25 кадров/сек, разрешением 1000x1000 элементов разрешения, что позволяет делать выводы о достаточной пространственно-временной статистике и принять число испытаний $x_N \rightarrow \infty$.

Взаимодействие оптического излучения с оптическим звеном можно представить как стохастическое ослабление входного излучения. Прореживание входного потока, принимаемая во внимание принятую пуассоновскую статистику, должно приводить к закономерному изменению статистических параметров сигнала, пропорционально коэффициенту ослабления нейтрального фильтра, а именно – уменьшение среднего значения и уменьшение дисперсии входного сигнала, сохраняя статистику.

Однако при изучении процесса регистрации сигналов в системах, использующих нейтральные фильтры, излучение (прошедшее оптическое звено, в которое включен ослабитель) вызывало в отдельных элементах разрешения фотоприемника флуктуации амплитуды, имеющие большие значения вероятности появления крупного события, чем у принятых статистических моделей. Регистрировались флуктуации по уровню интенсивности превышающие, или соизмеримые с уровнем входного излучения. Частота наступления таких событий (флуктуаций) превышала предполагаемую вероятность, согласно принятым теоретическим моделям [10 – 12].

На рис. 2 – 5 представлены результаты экспериментальных исследований процесса ослабления стохастического сигнала оптическим звеном с различными коэффициентами ослабления (при использовании различных нейтральных фильтров).

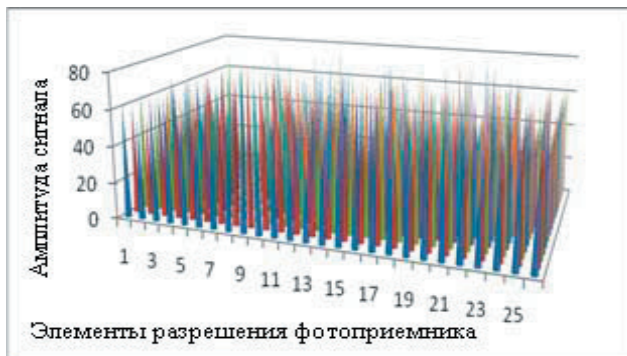


Рис. 2. Стохастический сигнал без ослабления

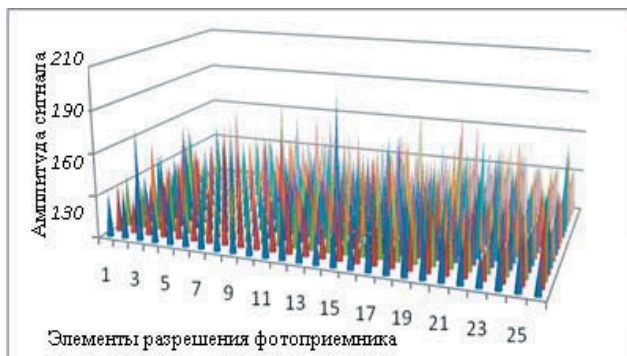


Рис. 3. Стохастический сигнал, ослабленный нейтральным фильтром. Коэффициент ослабления $k = 2$

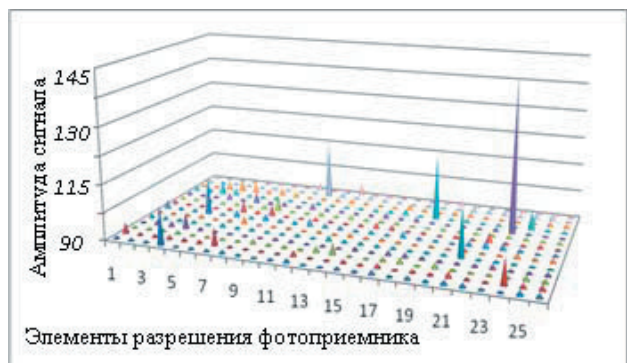


Рис. 4. Стохастический сигнал, ослабленный нейтральным фильтром. Коэффициент ослабления $k = 4$

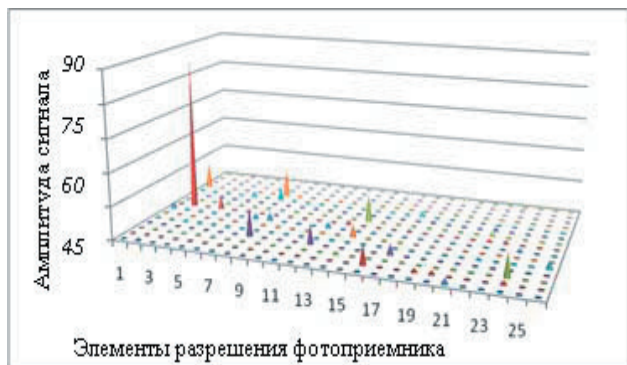


Рис. 5. Стохастический сигнал, ослабленный нейтральным фильтром. Коэффициент ослабления $k = 7$

С целью аппроксимации плотности вероятности выходных сигналов проведен статистический анализ полученных данных. Сравнительный анализ вероятностей появления событий нормированных и центрированных величин для экспериментальных данных и нормального закона распределения приведен в табл. 1. Гистограмма плотности вероятности выходного сигнала и нормального закона распределения показана на рис. 6.

Таблица 1

Вероятность появления события нормированных и центрированных величин

СКО	без ослабителя	Ослабитель $k = 2$	Ослабитель $k = 4$	Нормальное распределение
2	$4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
3	$3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$
4	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
5	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод, что в интервале от 2 до 4 СКО (среднеквадратичное отклонение) статистические характеристики излучения на выходе оптической системы, не использующей в своем составе ослабителя, хорошо аппроксимируются пуассоновской и гауссовой статистикой. При использовании ослабителей асимптотическое поведение «хвоста» плотности распределения экспериментальных результатов в интервале 2–5 СКО указывает на невозможность аппроксимации гауссовой статистикой.

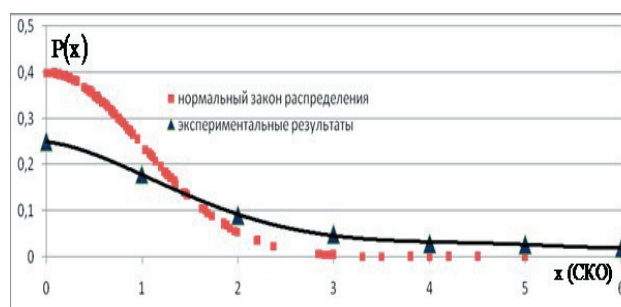


Рис. 6. Аппроксимация экспериментальных данных нормальным законом распределения

Как правило, при реализации пороговых методов обнаружения в оптико-телевизионных системах, необходимо обеспечивать уровень вероятности ложной тревоги порядка $< 10^{-3}$.

Условные вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги оптимизируются на основе выбора пороговых значений. Однако асимптотическое поведение плотности вероятности экспериментальных данных показывает, что выбор пороговых значений на основе гауссовой статистики приведет к ошибкам при расчете характеристик обнаружения системы.

4. Статистическая модель взаимодействия оптического сигнала с оптическим звеном в телевизионных системах. Центральная предельная теорема

Используя положения корпускулярной теории, оптическое поле представляется в виде потока фотонов - случайного потока точек. При взаимодействии входного оптического поля с оптическим звеном фотоны могут случайным образом пропускаться, поглощаться или переотражаться. Показатели преломления и поглощения определяют исходя из модели приповерхностного слоя и внутренней структуры оптического материала. Описание и прогнозирование свойств оптических материалов базируется на определении детерминированных макропараметров [13].

Случайный поток точек, взаимодействуя с оптическим звеном, подвергается преобразованиям, связанным либо с изменением количества точек исходного потока, либо с исчезновением в нем точек.

Преобразование потока связано с прохождением через среду (оптическое стекло), обладающую линейными или нелинейными характеристиками. Рассматривая процесс взаимодействия оптического излучения со стеклом, необходимо принять упорядоченную или неупорядоченную модель среды. Оптические стекла в основном рассматриваются с точки зрения упорядоченности и симметрии. При описании взаимодействий квантов света с материалом стекла должно учитываться то обстоятельство, что в аморфных материалах разупорядоченность может возникать в случае пространственной несимметрии узлов в объеме, наличия хаотически расположенных дефектов, влияния атмосферных воздействий и старения, а также расположения центров окраски оптически плотных материалов.

Обозначая через τ_j , $j=1,2,\dots$, координаты точек исходного (входного) потока, а через t_j , $j=1,2,\dots$ – координаты точек преобразованного (выходящего) потока, преобразование потока можно задать с помощью выражения:

$$t_j = D_j(\tau_j), \quad (2)$$

где D_j – функция, характеризующая линейное или нелинейное пространственно-временное преобразование входного потока, зависящая от координаты точки и от ее порядкового номера.

При рассмотрении взаимодействия входного сигнала и среды можно использовать свойство независимого исчезновения точек. Процедура прореживания потока рассматривается как случай, при котором отдельные точки исчезают независимо от других точек. Каждая точка входного потока с вероятностью $p(\tau_j)$ остается в потоке и с вероятностью $1-p(\tau_j)$ исчезает. При этом вероятность зависит от координаты рассматриваемой точки и не зависит от числа и координат других точек. Рассматриваемый случай является случаем вырожденного процесса размножения, при котором каждая точка может либо превращаться в одиночную точку с такой же координатой, как у исходной точки, либо исчезать.

Входной поток может подвергаться линейному или нелинейному преобразованию с одновременным исключением некоторого числа точек. Преобразование

включает процедуры наложения и просеивания, при котором процедуры наложения и просеивания не зависят друг от друга. В этом случае удобно воспользоваться методом последовательных преобразований, предполагая, что вначале происходит наложение потоков, а за ним следует просеивание потока, выходящего после первого преобразования. После процедуры независимого разрежения условная плотность потока уменьшается в ν раз, сохраняя статистику.

Согласно принятым теоретическим статистическим моделям выходных сигналов в оптико-телевизионных системах поток дискретных частиц описывается пуассоновской статистикой. Согласно теореме: если в последовательности координат точек x_i , образующих пуассоновский поток с интенсивностью f , применяется операция разрежения с вероятностью исключения γ точек, то поток оставшихся точек является пуассоновским с интенсивностью $(1-\gamma)f$. Эти рассуждения, согласно [14 – 16], приводят нас к тому, что к анализируемой сумме независимых случайных событий применима центральная предельная теорема и флуктуации выходного потока имеют гауссову статистику.

Приведенные экспериментальные результаты показывают, что данная модель может быть применена при аппроксимации плотности вероятности выходных сигналов оптико-телевизионных систем, не использующих ослабители в интервале от 2 до 4 СКО.

При использовании ослабителей необходимо проанализировать дополнительные факторы, влияющие на формирование выходных сигналов в системах, работающих в режиме ограниченного динамического диапазона, и усовершенствовать статистическую модель выходных сигналов.

5. Статистическая модель взаимодействия оптического сигнала с оптическим звеном в телевизионных системах. Обобщенные предельные теоремы

Неупорядоченные материалы, такие как нейтральные фильтры, на микроскопическом уровне принципиально неоднородны и различаются по структуре в различных участках макроскопически однородного оптического стекла. Все процессы трансформации энергии фотонов носят вероятностный характер. Учет микропараметров, таких как квантовые свойства излучения, то есть процессы, происходящие после поглощения кванта света, группировок и антигруппировок фотонов, флуктуаций и фотон-фонного взаимодействия, позволяет интерпретировать полученные результаты более адекватно.

Статистику выходного излучения эмпирически можно описать несимметричными законами распределения, обладающими «тяжелыми» хвостами, то есть имеется вероятность крупного, но редкого события, которым нельзя пренебречь, вносящего существенный вклад в описание получаемых результатов. При объяснении этих процессов можно использовать теорию аномальных диффузионных процессов [17, 18].

Математическим фундаментом служит теория устойчивых вероятностных распределений, которая с единой точки зрения позволяет исследовать аномальные диффузионные процессы.

Устойчивые законы. Предельные распределения, для которых не выполняется центральная предельная теорема, характеризуются вторым моментом, стремящимся к бесконечности, и увеличение выборки, каждый раз конечной, не повышает точность измерений, а снижает ее. Для каждого устойчивого закона $P(x)$ с характеристическим показателем α , где $0 < \alpha < 2$ существуют числа:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x^\alpha \{1 - P(x) + P(-x)\} = c, \quad c > 0. \quad (3)$$

Одной из основных задач теории устойчивых законов является определение их областей притяжения. Известно, что если случайные величины $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$ взаимно независимы и имеют одну и ту же функцию распределения $P(x)$, и если функция распределения сумм x_N сходится при $N \rightarrow \infty$ к функции распределения $F(x)$, то $P(x)$ притягивается к $F(x)$, имеющего название – область притяжения закона $F(x)$.

Все устойчивые законы имеют свою область притяжения. Совокупность всех функций распределения, притягивающихся к $P(x)$, имеют строгое асимптотическое поведение функции плотности вероятности. Одним из наиболее важных утверждений обобщенных предельных теорем состоит в том, что вероятность появления большого значения в записи случайной переменной не является пренебрежимо малой, если $P(x)$ при больших x убывает очень медленно. При увеличении числа испытаний могут быть получены все большие и большие значения x , и сумма x_N может возрасти быстрее, чем число испытаний.

Нормальный закон распределения и центральная предельная теорема, широко используемые при анализе работы оптико-телевизионных систем, обладают областью притяжения к себе широкого класса законов распределения. Согласно теореме [19] функция распределения $P(x)$ принадлежит области притяжения нормального закона тогда и только тогда, когда при $x_N \rightarrow \infty$:

$$\frac{X^2 \int_{|x|>X} dP(x)}{\int_{|x|<X} x^2 dP(x)} \rightarrow 0. \quad (4)$$

Для того, чтобы закон распределения $P(x)$ принадлежал области притяжения устойчивого закона с характеристическим показателем $0 < \alpha < 2$, необходимо и достаточно, чтобы:

$$\frac{P(-x)}{1 - P(x)} \rightarrow \frac{c_1}{c_2} \quad \text{при } x \rightarrow \infty,$$

$$\frac{1 - P(x) + P(-x)}{1 - P(kx) + P(-kx)} \rightarrow k^\alpha \quad \text{при } x \rightarrow \infty. \quad (5)$$

6. Определение предельных распределений выходных сигналов оптико-телевизионных систем. Области притяжения

Для обоснования принятия модели выходных сигналов на основе α -устойчивых процессов необхо-

димо провести анализ предельных распределений, характеризующих выходной сигнал оптико-телевизионной системы, согласно выражениям (4) и (5) на принадлежность к области притяжения нормального закона $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}}$ при $x \rightarrow \infty$, имеющего конечную дисперсию, а также на принадлежность области притяжения устойчивых законов распределения, имеющих бесконечную дисперсию.

Анализ суммы независимых случайных величин, характеризующей выходной сигнал оптико-телевизионных систем, использующих ослабитель, показал, что предельные законы распределения выходных сигналов принадлежат областям притяжения устойчивых законов.

На рис. 7 представлены плотности распределения экспериментальных данных и предельного закона распределения с характеристическим показателем $\alpha = 1$. Асимптотическое поведение «хвоста» плотности распределения экспериментальных данных хорошо аппроксимируются в диапазоне от 2 до 5 СКО устойчивым законом по критерию наименьших квадратов.

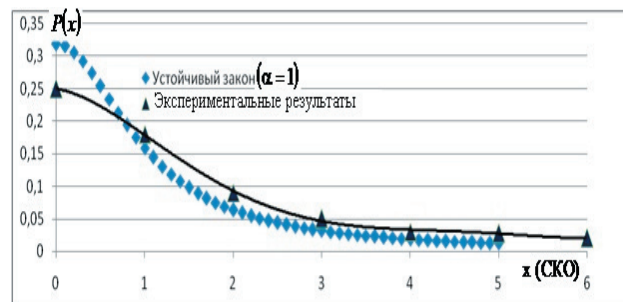


Рис. 7. Аппроксимация экспериментальных данных устойчивым законом

7. Заключение

Обнаружение и исследование новых состояний и новых статистических свойств излучения – закономерный этап в развитии оптики и теории оптико-электронных приборов в целом.

Несмотря на широкое использование пуассоновской и гауссовой моделей для описания выходных сигналов, связанное с их относительной простотой и возможностью получения аналитических результатов, адекватное описание реальных процессов требует учета влияния аномальных выбросов при регистрации оптического излучения и флуктуаций коэффициентов передачи приемных трактов оптико-телевизионных систем.

Одним из путей развития систем с ограниченным динамическим диапазоном является совершенствование статистических моделей выходных сигналов, позволяющих учесть процессы взаимодействия входного излучения с оптическим звеном. Необходимо учитывать плотности вероятности исследуемых сигналов, подчиняющихся обобщенным предельным теоремам. Игнорирование наличия флуктуаций выходного сигнала, которые можно характеризовать как наличие крупного события в выборке, использование пуассоновской и гауссовой статистики при аппроксимации распределений выходных сигналов может приводить

к значительным систематическим ошибкам. Если современные методы обнаружения сигналов в условиях априорной неопределенности достаточно эффективны для пуассоновской и гауссовой статистики, то аномальные выбросы в принимаемом оптическом поле могут существенно исказить оценки характеристик обнаружения системы в целом. Модель выходных сигналов, основанная на устойчивых законах распре-

деления с характеристическим показателем $0 < \alpha < 2$, позволит усовершенствовать алгоритмы обработки выходных сигналов. При вычислении предельных характеристик обнаружения и оптимизации пороговых значений, учет асимптотического поведения «хвостов» плотности вероятности выходных сигналов, позволит существенно уменьшить ошибки обнаружения сигнала по сравнению с моделью на гауссовой статистике.

Литература

1. Трошина, И. П. Особенности компьютерного моделирования оптико-электронных систем третьего поколения [Текст] / И. П. Трошина, Ю. Г. Якушенков // Оптический журнал. – 2010. – № 2. – С. 87–89.
2. Никитин, В. М. Адаптивная помехозащита оптико-электронных информационных систем [Текст] : монография / В. М. Никитин, В. Н. Фомин, А. И. Николаев, И. Л. Борисенков. – Белгород, 2008. – 196 с.
3. Оптическая локация. Теоретические основы приема и обработки оптических сигналов [Текст] : монография / Под ред. А. И. Стрелкова. – Х.: Апостроф, 2010. – 312 с.
4. Лытюга А. П. Алгоритмы обнаружения оптических сигналов от низкоорбитальных космических объектов в дневное время [Текст] / А. П. Лытюга // Системи обробки інформації. – 2010. – Вып. 4(22). – С. 41 – 46.
5. Березин В. В. Обнаружение и оценивание координат изображений точечных объектов в задачах астронавигации и адаптивной оптики [Текст] / В. В. Березин, А. К. Цыбулин // Вестник ТОГУ. – 2008. – № 1(8). – С. 11 – 20.
6. Андреев А. Л. Разработка структуры комплексной модели оптико-электронной системы наблюдения за точечными объектами [Текст] / А. Л. Андреев, Т. П. Лбова // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2009. – № 5(63). – С. 10–15.
7. Мосягин Г. М. Теория оптико-электронных систем [Текст]: монография / Г. М. Мосягин, В. Б. Немтинов, Е. Н. Лебедев. – М., 1990. – 432 с.
8. Шереметьев А. Г. Статистическая теория лазерной связи [Текст]: монография [Текст] / А. Г. Шереметьев. – Москва, 1971. – 264 с.
9. Стрелков А. И. Особенности математического описания процессов ослабления оптического излучения [Текст] / А. И. Стрелков, Е. И. Жилин, Т. А. Стрелкова А. П. Лытюга, Т. В. Бутрым // Радиотехника: Всеукр. Межвед. науч.-техн. сб. – 2012. – Вып. 168. – С. 97 – 102.
10. Стрелков А. И. Стохастико-детерминированный подход к обработке оптических сигналов в оптико-электронных системах [Текст] / А. И. Стрелков, Т. А. Стрелкова, А. П. Лытюга // Научно-технический журнал «Контенант», г. Красногорск. – 2013. – Том 12. – №1. – С. 83 – 87.
11. Стохастический подход к оценке качества оптического стекла. Проблемные вопросы [Текст]: материалы Международного историко-научного симпозиума «История оптики и современность», 28-30 октября 2013 г. Санкт-Петербург. – ЛИТМО, 2013. – С. 58 – 59.
12. Стрелкова Т. А. Исследование статистики пространственно-временных сигналов в оптико-электронных системах [Текст] / Т. А. Стрелкова, Ю. И. Созонов, Ю. А. Яновский // Радиотехника: Всеукр. Межвед. науч.-техн. сб. – 2012. – Вып. 170. – С. 185 – 188.
13. Bennett Jean M. Шероховатость поверхности и рассеяние [Текст] : монография / Jean M. Bennett, Lars Mattsson. – Optical Society of America, 1993. – 119 с.
14. Большаков И. А. Прикладная теория случайных потоков [Текст]: монография / И. А. Большаков, В. С. Ракошиц – Москва, 1978. – 248 с.
15. Феллер В. Введение в теорию вероятности и ее приложения [Текст]: монография / В. Феллер. – Москва, 1964. – 765 с.
16. Кокс Д., Льюис П. Стохастический анализ последовательностей событий [Текст] : монография / Д. Кокс, П. Льюис. – Москва, 1969. – 312 с.
17. Золотарев В. М. Устойчивые законы и их применение [Текст]: монография / В. М. Золотарев. – Москва, 1984. – 66 с.
18. Леви Поль. Стохастические процессы и броуновское движение [Текст]: монография / П. Леви, 1972. – 375 с.
19. Гниденко Б. В. Предельные теоремы для сумм независимых случайных величин [Текст]: монография / Б. В. Гниденко, А. Н. Колмогоров. – Москва, 1949. – 264 с.