

УДК 535:621.373.826

### АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ВЫБРОСАМИ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА И ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ ЛОКАЦИИ С ШУМОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ

Е.Г. Лебедев, М.Г. Серикова

Исследуются законы распределения вероятностей длительности интервалов между выбросами нормальных флуктуаций при различных энергетических спектрах процесса и разных отсчетных уровнях. Рассмотрена возможность применения полученных результатов в системах ближней лазерной локации.

**Ключевые слова:** ближняя оптическая локация, выбросы случайного процесса.

#### Введение

Функционирование систем ближней оптической локации сопровождается рядом трудностей, обусловленных спецификой работы в ближней зоне. Как правило, эти устройства функционируют в условиях пространственного перемещения взаимодействующих объектов относительно друг друга, что приводит к дефициту времени обработки информации [1]. Кроме того, в системах ближней оптической локации время запаздывания сигнала сопоставимо с его длительностью. Естественно, что в этом случае возникает возможность использовать для приема отраженного сигнала временной интервал между двумя шумовыми выбросами на выходе приемного устройства. Это позволило бы уменьшить уровень срабатывания решающего устройства и снизить требуемое отношение сигнала к шуму, а, следовательно, повысить энергетическую эффективность системы.

Целью данной работы является анализ распределения интервалов между выбросами случайного процесса при различных передаточных функциях приемно-усилительного тракта и исследование возможности использования шумовой синхронизации излучения в системах ближней локации.

#### Формулировка проблемы поиска распределений интервалов между выбросами случайного процесса

Рассмотрим задачу нахождения функции распределения и плотности вероятности длительности интервалов  $\tau$  между последовательными пересечениями заданного уровня  $C$  с траекторией дифференцируемого нормального случайного процесса с нулевым средним значением (рис. 1) при различных энергетических спектрах его и различных уровнях срабатывания  $C$ .

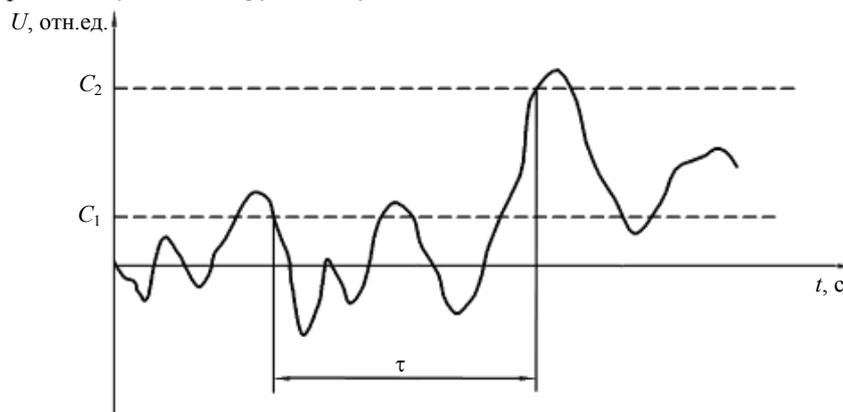


Рис. 1. Определение длительности между выбросами случайного процесса в общем случае:  $\tau$  – длительность интервала между выбросами случайного процесса;  $C_1$ ,  $C_2$  – уровни пересечения, задающие начало и конец интервала между выбросами соответственно

В общем виде задача о нахождении плотности вероятности и функции распределения для выбросов флуктуаций, мало отличающихся от нормальных, дана в работе [2]. Сложность общего аналитического решения задачи не позволяет использовать полученные выражения в инженерных расчетах, а замена точной формулы упрощенной связана с некоторыми погрешностями, которые трудно оценить аналитически. Ко-

нечное заключение о степени приближения результатов расчета к действительности можно получить в результате сопоставления с экспериментальными данными [3]. Для этого целесообразно провести моделирование работы измерительного прибора определения требуемых характеристик (анализатора).

**Описание математической модели анализатора**

Можно обозначить несколько обязательных требований, предъявляемых к модели анализатора:

- возможность устанавливать различные параметры генерации шума;
- возможность менять частоту пропускания фильтра;
- возможность изменять величину порога срабатывания анализатора.

Кроме того, необходимо, чтобы схема была достаточно универсальна, т.е. позволяла бы анализировать интервалы между выбросами не только для одного уровня, но и для двух, не равных друг другу уровней (рис. 1). Возможная схема построения такого анализатора представлена на рис. 2.

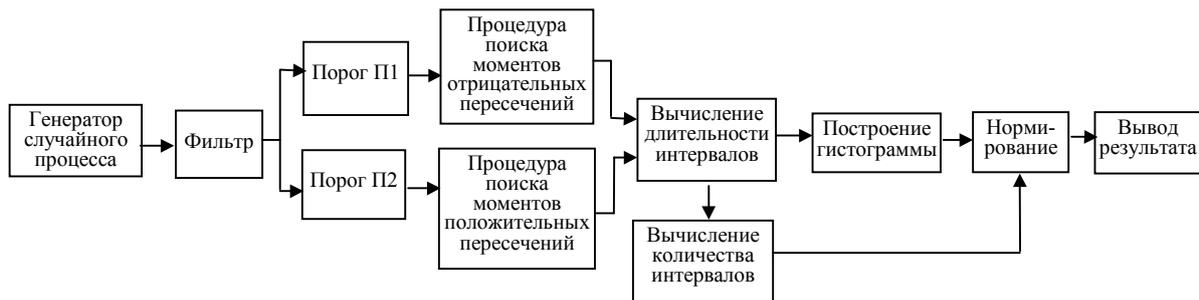


Рис. 2. Схема анализатора интервалов между выбросами

Представленная схема анализатора была реализована в среде LabView. С помощью полученного виртуального прибора был исследован характер поведения распределений при изменении уровней срабатывания и постоянной фильтра (рис. 3).

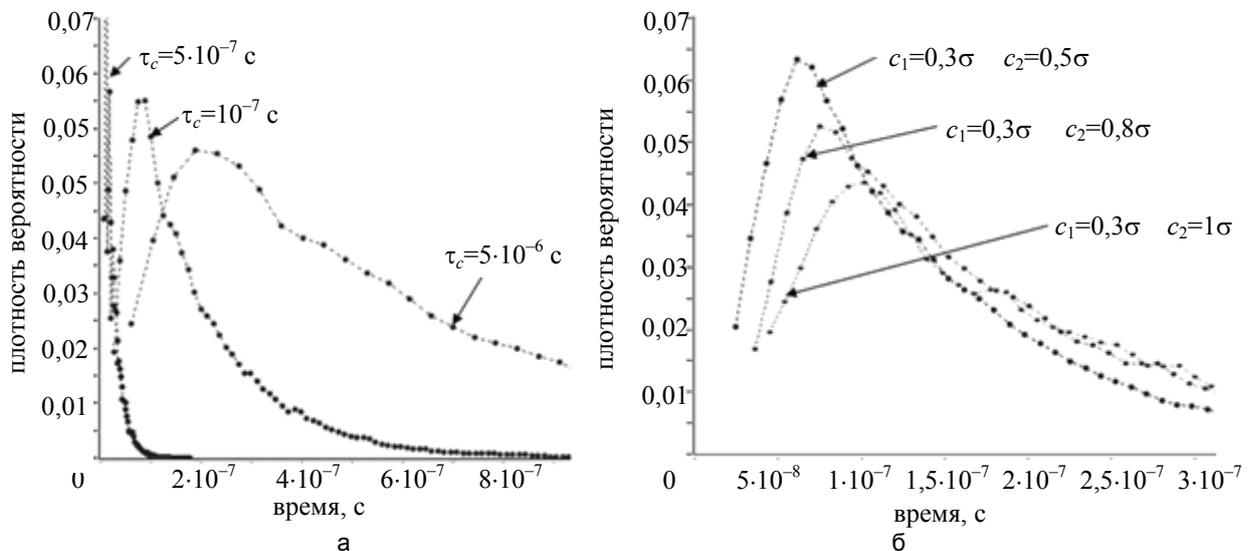


Рис. 3. Характер поведения распределений при изменении параметров анализатора: плотность вероятности при изменении постоянной времени фильтра (а); плотность вероятности при изменении разницы между уровнями срабатывания (б)

Из данных, представленных на рис. 3, видно, что с увеличением постоянной времени фильтра, а также при увеличении разницы между уровнями срабатывания анализатора длительность интервалов увеличивается, а пик распределения смещается в область более низкой вероятности.

**Принцип построения системы ближней оптической локации с шумовой синхронизацией**

Вышеизложенные результаты могут быть применены при решении различных задач – как радиотехнических, так и оптоэлектронных. Применительно к оптической локации знание законов распределения интервалов между выбросами случайного процесса может быть использовано для реализации системы

ближней локации с шумовой синхронизацией момента излучения. Примерная схема построения такой системы и временные диаграммы, поясняющие принцип ее работы, представлены на рис. 4 и 5.

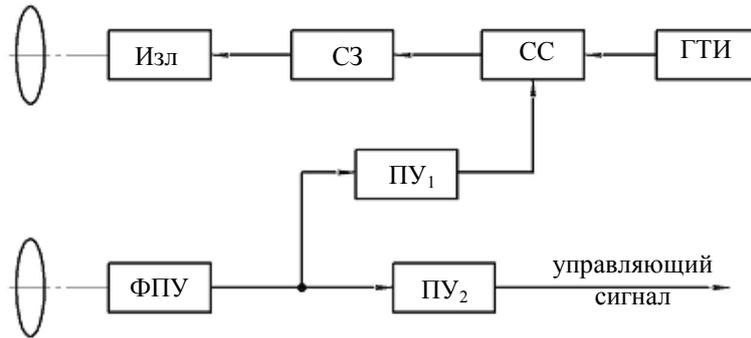


Рис. 4. Схема приемо-передатчика с шумовой синхронизацией: ГТИ – генератор тактовых импульсов, Изл – излучатель, определяющий требуемую частоту посылок излучения, ПУ<sub>1</sub> и ПУ<sub>2</sub> – пороговые устройства, первое из которых срабатывает по спаду входного сигнала, а второе по фронту, СЗ – схема запуска излучателя, СС – схема совпадений, ФПУ – фотоприемное устройство

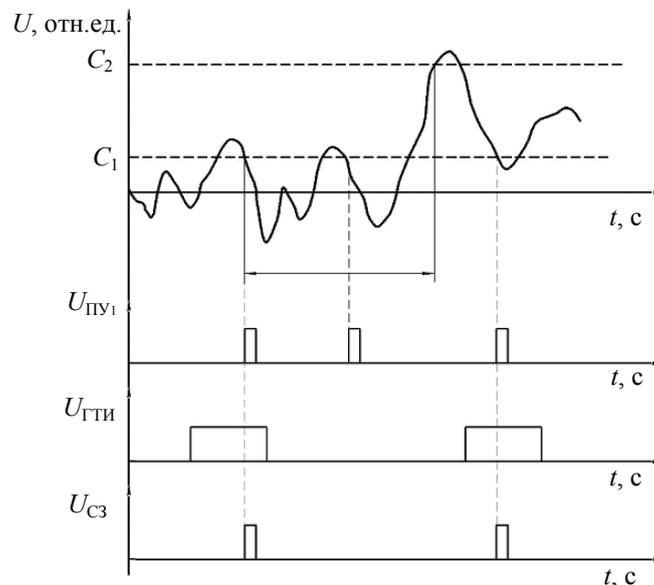


Рис. 5. Временные диаграммы работы предлагаемой системы с шумовой синхронизацией:  $U$ ,  $U_{ПУ1}$ ,  $U_{ГТИ}$ ,  $U_{СЗ}$  – сигналы на выходах фотоприемного устройства, первого порогового устройства, генератора тактовых импульсов и схемы запуска соответственно

Принцип действия такой системы следующий. С выхода фотоприемного устройства ФПУ шумы приемного устройства поступают одновременно на два пороговых устройства, ПУ<sub>1</sub> и ПУ<sub>2</sub>, с уровнями срабатывания  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_2 > C_1$ ). Сигнал с ПУ<sub>1</sub>, фронт которого соответствует моменту пересечения уровня  $C_1$  шумами приемного устройства с отрицательной производной, предназначен для запуска излучающего устройства. При превышении порога  $C_1$  открывается схема совпадения СС, на второй вход которой подаются импульсы от генератора тактовых импульсов ГТИ. Сигнал от схемы совпадения СС включает схему запуска, и формируется импульс излучения. При превышении порогового уровня  $C_2$  пороговое устройство ПУ<sub>2</sub> формирует управляющий сигнал, по которому происходит дальнейшее функционирование системы.

#### Определение средней частоты посылок импульсов излучения и вероятности ложной тревоги для приемо-передатчика с шумовой синхронизацией

Частота излучения в представленной схеме приемо-передатчика определяется частотой пересечения случайным процессом уровня срабатывания  $C_1$  с отрицательной производной (рис. 5). Известно, что среднюю частоту пересечений можно определить по следующему выражению [4]:

$$N(C_1) = \frac{1}{\pi} \sqrt{-R''(0)} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{C_1 - m}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где  $C_1$  – величина уровня срабатывания;  $m$  – математическое ожидание случайного процесса;  $\sigma$  – дисперсия случайного процесса;  $R''(0)$  – значение второй производной от корреляционной функции процесса в нуле.

Для фильтра с экспоненциальной передаточной характеристикой, заданной выражением

$$K(j\omega) = \exp \left( -\frac{\omega^2}{4 \cdot \pi^2} \tau_c^2 \right), \quad (2)$$

где  $\tau_c$  – постоянная фильтра, корреляционная функция определяется выражением

$$R(\tau) = \exp \left( -\frac{\pi}{2\tau_c^2} \tau^2 \right). \quad (3)$$

Тогда вторая производная равна

$$R''(0) = -\frac{\pi}{\tau_c^2}. \quad (4)$$

Таким образом, искомая частота пересечений определяется как

$$N(c) = \frac{1}{\pi} \sqrt{-\frac{\pi}{\tau_c^2}} \cdot \exp(-0,5c^2), \quad (5)$$

где  $c = \frac{C_1}{\sigma}$  – величина относительного уровня срабатывания. Характер полученной зависимости показан на рис. 6.

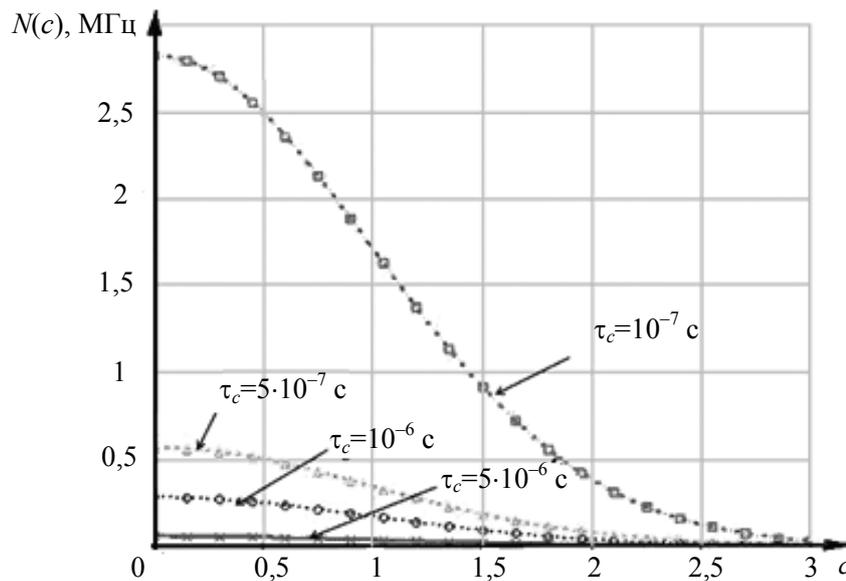


Рис. 6. Зависимость средней частоты пересечений уровня с положительной производной от величины этого уровня  $c$  и постоянной фильтра  $\tau_c$

Из рис. 6 видно, что для увеличения частоты облучения необходимо понижать уровень  $c$  и уменьшать постоянную времени фильтра.

Вероятность ложной тревоги рассчитывается как площадь под графиком плотности распределения вероятности  $P(\tau)$  длительности интервалов между выбросами в интервале времени  $[0, T]$  (рис. 7), где время  $T$  определяется максимальной дистанцией промаха.

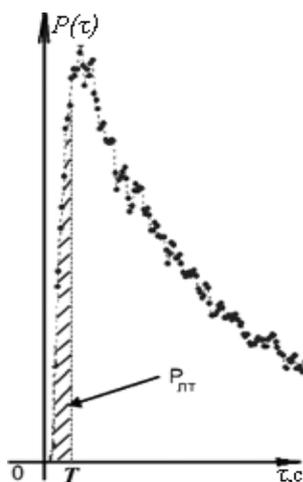


Рис. 7. К определению вероятности ложной тревоги

### Выводы

Рассмотрены плотности вероятностей интервалов между выбросами широкополосного нормального случайного процесса при различных уровнях ограничения и различных передаточных функциях приемно-усилительного тракта. Показано, что возможно использовать системы ближней локации, в которых запуск лазерного излучателя осуществляется спадом шумового выброса на выходе приемно-усилительного тракта, а прием отраженного сигнала осуществляется на интервале между выбросами случайного процесса. Такой подход позволяет существенно снизить уровень срабатывания решающего устройства и, естественно, уменьшить энергетические затраты. Анализ распределения интервалов между выбросами показывает, что требования к частоте посылок излучения и вероятности ложной тревоги находятся в противоречии. Однако эти противоречия могут быть разрешены использованием системы, в которой запуск излучения осуществляется от пересечения спада шумового выброса более низкого уровня, а принятие решения о наличии сигнала – более высоким уровнем.

Работа осуществлялась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

### Литература

1. Мусьяков М.П., Миценко И.Д., Ванеев Г.Г. Проблемы ближней лазерной локации: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 295 с.
2. Тихонов В.И. Распределение выбросов нормальных флуктуаций по длительности // Радиотехника и электроника. – 1956. – Т. 1. – № 1. – С. 23–33.
3. Лебедько Е.Г., Аверьянов Г.А., Егоров А.С., Романов А.М., Хайтун Ф.И. Определение дифференциальных законов распределения интервалов между выбросами случайного процесса // Приборы и техника эксперимента. – 1971. – № 6.
4. Тихонов В.И., Хименко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов. – Л.: Наука, 1987. – 304 с.

*Лебедько Евгений Георгиевич*

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, [eleb@rambler.ru](mailto:eleb@rambler.ru)

*Серикова Мария Геннадьевна*

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, [serikovamg@gmail.com](mailto:serikovamg@gmail.com)