

УДК 621.397.7

**И.Н. Пустынский, Б.И. Авдоченко, Е.В. Зайцева, М.И. Курячий,  
Ю.Р. Кирпиченко, В.В. Капустин**

## **Методы и средства повышения помехоустойчивости и качества изображений активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем**

Приводится обзор программно-аппаратных методов и средств повышения помехоустойчивости и качества изображений активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем, разрабатываемых на кафедре телевидения и управления.

**Ключевые слова:** прикладное телевидение, телевизионные системы, режимы работы, качество изображений.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2017-20-3-86-89

Носителем полезной информации об объекте наблюдения является поток излучения, источниками которого являются сам объект наблюдения, отраженная составляющая потоков естественного и искусственного источников подсвета, рассеянного средой излучения. Собственное и отраженное излучение объекта наблюдения и фона, в том числе излучение искусственной либо естественной помехи, проходит через промежуточную среду (атмосфера или другая среда, ослабляющая излучение) и улавливается оптической системой прибора, направляющей его на приемник излучения.

Сигнал с выхода фотоприемного устройства усиливается и поступает в блок предварительной обработки видеосигнала, где в зависимости от назначения прибора осуществляются соответствующие преобразования.

В процессе преобразования информации в каждом элементе оптико-электронного преобразователя (ОЭП) она в большей или меньшей степени искажается. При этом величина искажений зависит не только от устройства и алгоритма работы ОЭП, но и от структуры входного сигнала, а также условий наблюдения. При анализе характеристик телевизионной системы искажения принято классифицировать следующим образом: амплитудные искажения в передаче значений функции сигнала; координатные искажения при преобразовании базиса пространства; искажения спектра пространственных частот [1].

Однако такая классификация достаточно условная. Так, например, искажения, связанные с конечными размерами элементов разложения, можно отнести как к амплитудным, так и к искажениям спектра пространственных частот, ограничение количества воспроизводимых градаций яркости влияет на все перечисленные выше виды искажений и т.д.

Помехой называется стороннее возмущение, действующее в системе передачи сигналов и препятствующее правильному их приему [2].

Помехи по месту возникновения или по отношению к прибору в наиболее общем случае можно подразделить на внешние и внутренние.

Основными источниками наиболее часто встречающихся на практике внешних естественных помех

являются собственное и отраженное излучение небесных тел, Земли и ее покровов, атмосферы и ее образований, полярных сияний, а также искажающее влияние среды распространения излучения на сигнал.

Излучение, распространяющееся в земной атмосфере, кроме энергетических потерь, испытывает флуктуации амплитуды и фазы, вызванные случайным пространственно-временным распределением показателя преломления воздуха. Последнее обусловлено турбулентными движениями в атмосфере, влекущими за собой случайное изменение температуры.

Флуктуации направления распространения излучения проявляются в смещении изображения объекта наблюдения относительно истинного положения, что существенно ограничивает точность определения координат объекта.

Рассеяние излучения на случайных изменениях показателя преломления воздуха приводит к значительным флуктуациям его интенсивности.

К внешним искусственным помехам относятся специально организованные оптические помехи, а также находящиеся в зоне наблюдения фонари освещения, прожектора, фары транспортных средств и т.д.

Под модулированными помехами понимают искусственные оптические источники излучения, у которых принудительно по определенному закону изменяются амплитуда, частота, фаза излучения. При этом, как правило, источник излучения модулированной помехи совмещен с защищаемым объектом [3–5].

В настоящее время для обнаружения, наблюдения и измерения параметров объектов в различных условиях окружающей среды применяются активно-импульсные телевизионно-вычислительные системы (АИТВС). Принцип их действия основан на импульсном методе подсветки поля зрения системы лазерными или светодиодными излучателями и стробировании по времени импульсов излучения, отраженных от объектов наблюдения. Системы могут применяться как в нормальных, так и в сложных условиях наблюдения за объектами: в солнечный день, в сумерки и ночью, при ограниченной или низкой прозрачности

среды распространения излучения, при наличии дымки, тумана, различных осадков, естественных и искусственных световых помех [6].

АИТВС имеют существенные преимущества перед обычными телевизионными системами (ТВС) при регистрации изображений в условиях плохой видимости (туман, снег, дождь и т.д.) [4, 6]. В то же время при работе в активно-импульсном (АИ) режиме информация об объекте наблюдения содержится только в отраженном от объекта потоке излучения импульсного источника подсвета. Информация об объекте наблюдения, обусловленная естественной подсветкой практически полностью теряется, т.к. время накопления зарядов, обусловленных такой подсветкой, определяется только длительностью импульсов стробирования электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и их числом за время кадра.

Вариантом построения ТВС, исключающим потерю информации, может быть система, имеющая два идентичных канала, один из которых работает в непрерывном режиме, а другой в режиме АИ, либо система, в которой реализована возможность получения дополнительной информации, обусловленной естественной освещенностью.

Однако при пониженной прозрачности атмосферы (дымка, туман, пыль и т.д.) из-за сильного влияния помехи обратного рассеяния эффективность такого решения снижается.

Для повышения качества изображений возможно реализовать функцию суммирования изображений в виде дополнительного режима работы АИТВС [7].

В режиме суммирования изображений, обусловленных естественной освещенностью и полученных в активно-импульсном режиме, формируется необходимая последовательность импульсов управления затвором ЭОП.

Временные диаграммы сигналов формирования импульсов стробирования ЭОП и изменение заряда на элементе мишени ПЗС приведены на рис. 1.

Оптическим излучателем ( $U_{\text{лазер}}$ ) на затворе ЭОП ( $U_{\text{ЭОП}}$ ) устанавливается высокий уровень потенциала, соответствующий открытому состоянию. Усиленное по яркости изображение объекта, обусловленное естественной освещенностью, переносится согласующим объективом на фоточувствительную поверхность ПЗС. На элементах ПЗС в течение интервала времени  $0-t_1$  накапливается заряд  $Q_{\text{э1}}$ , пропорциональный освещенности объектов, обусловленной естественным излучением (штриховая линия).

До момента появления импульса управления в момент времени  $t_1$  по приходу строчного синхроимпульса формируется импульс запуска оптического излучателя ( $U_{\text{лазер}}$ ). В течение времени распространения излучения до объекта наблюдения и обратно  $\tau_3 = t_2 - t_1$  затвор ЭОП закрыт. Накопление заряда на элементе ПЗС не происходит. Влияние помехи обратного рассеяния на величину заряда исключается. Заряд остается равным накопленному к моменту времени  $t_1$  ( $Q_{\text{э1}}$ , штриховая линия).

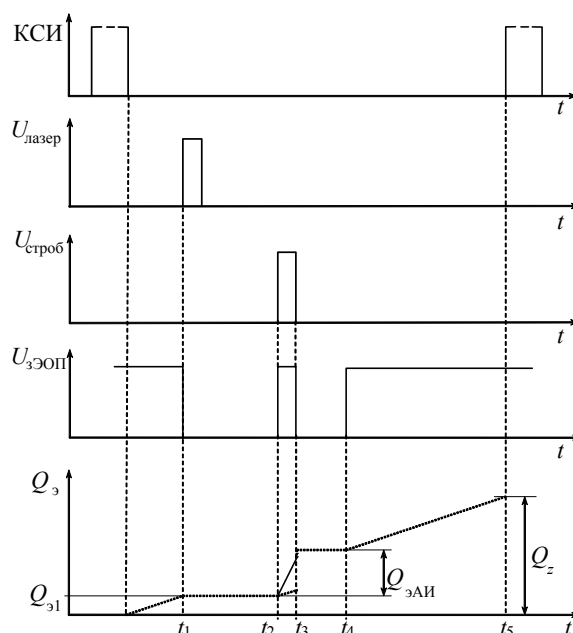


Рис. 1. Временные диаграммы сигналов формирования импульсов стробирования ЭОП и изменение заряда на элементе мишени ПЗС

По истечении времени, равного времени задержки  $\tau_3 = t_2 - t_1$ , определяющего дальность до зоны видения, затвор ЭОП открывается на время  $\tau_{\text{н}} = t_3 - t_2$ . За время  $\tau_{\text{н}}$  на элементе ПЗС формируется заряд, обусловленный естественной освещенностью (штриховая линия) и освещенностью оптического излучателя (сплошная линия). На интервале времени  $t_3-t_4$  накопления зарядов на элементе ПЗС не происходит (затвор ЭОП закрыт).

В момент времени  $t_4$  на затворе ЭОП устанавливается высокий уровень потенциала (затвор ЭОП открыт) и до прихода кадрового синхроимпульса осуществляется накопление заряда на элементе ПЗС, обусловленного естественной освещенностью (штриховая линия). В результате заряд на элементе ПЗС  $Q_{\Sigma}$  будет определяться не только импульсной составляющей излучения оптического излучателя  $Q_{\text{эАИ}}$ , но и естественной освещенностью, регистрируемой в интервалах времени  $0-t_1$ ,  $t_4-t_5$ . Величина интервала времени  $t_3-t_4$  изменяется с блока управления с целью минимизации влияния помехи обратного рассеяния, обусловленной свечением слоя атмосферы за зоной видения, на качество изображения.

В следующих кадрах последовательность работы повторяется.

С целью повышения качества изображений в АИТВС, увеличения чувствительности и разрешающей способности предложена система, описание которой приведено в работе [8]. Повышение качества АИТВС достигается обеспечением синхронного стробирования ПЗС-матрицы, ЭОП и привязки временных параметров импульсов подсвета и стробирования к тактовой частоте телевизионной камеры.

Учитывая, что накопление полезного сигнала осуществляется за время, равное произведению дли-

тельности импульса стробирования ЭОП на их количество за время полукадра, а шумовые электроны, обусловленные «темновым» током ПЗС и «темновым» свечением экрана ЭОП, накапливаются в течение всего полукадра, на электронный затвор ПЗС синхронно с импульсами стробирования ЭОП подаются импульсы длительностью большей или равной импульсу стробирования. В результате количество шумовых зарядов на элементе ПЗС уменьшится на величину, пропорциональную отношению времени полукадра к длительности импульса на электронном затворе ПЗС.

Высокая точность и стабильность формирования задержек и длительностей импульсов, обеспечиваемые привязкой временных параметров импульсов к тактовой частоте телевизионной камеры, позволяют дополнительно увеличить чувствительность и разрешающую способность АИТВС за счет минимизации размытия зоны видения.

#### Повышение качества изображения и расширение области применения АИТВС при использовании ультрафиолетовых (УФ) источников подсвета

Ультрафиолетовое (УФ) излучение – это невидимое глазом электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между видимым и рентгеновским излучениями в пределах длин волн 0,01–0,4 мкм. Вся ультрафиолетовая область спектра условно делится на ближнюю (0,2–0,4 мкм) и дальнюю, или вакуумную (0,01–0,2 мкм). Последнее название обусловлено тем, что ультрафиолетовое излучение этого участка сильно поглощается воздухом. При этом излучение с длиной волны  $\lambda < 0,3$  мкм в естественных условиях земной атмосферы вообще отсутствует.

Практический интерес имеет ближняя УФ-область 0,2–0,4 мкм. Этот интерес к ультрафиолетовой области спектра вызван резким уменьшением в УФ-диапазоне фонового излучения (рис. 2) [9].

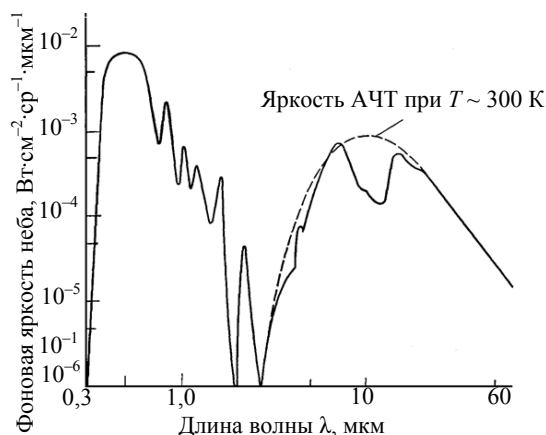


Рис. 2. Спектральная зависимость яркости безоблачного неба

Одно из возможных применений телевизионных систем видения в ближнем УФ-диапазоне – это обнаружение наземных объектов. В арктической

зоне использование таких систем будет наиболее эффективным, поскольку снег отражает УФ-лучи лучше, чем большинство белых красок. Зеленая листва и песок, напротив, практически полностью поглощают УФ-излучение, что также создаёт необходимый контраст в полученном изображении для уверенного обнаружения объектов. При необходимости контраст изображений может быть дополнительно увеличен при помощи цифровой обработки.

С использованием ЭОП, обладающего высокой спектральной чувствительностью в диапазоне 200–400 нм, возможно построение активно-импульсной телевизионной системы, работающей в ближнем УФ-диапазоне для обнаружения объектов. Структурная схема АИТВС с УФ-подсветом показана на рис. 3.

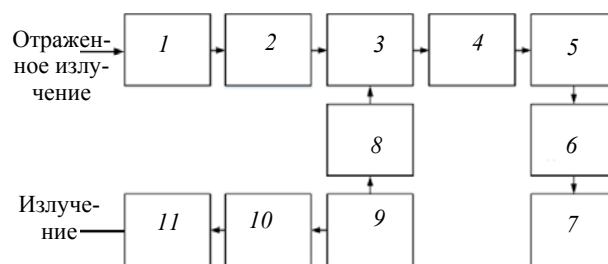


Рис. 3. Структурная схема активно-импульсной телевизионной системы работающей в ближнем УФ-диапазоне:

- 1 – объектив; 2 – полосовой УФ-фильтр; 3 – ЭОП; 4 – согласующий объектив; 5 – ПЗС- или КМОП-камера; 6 – блок обработки изображений; 7 – устройство отображения; 8 – импульсы стробирования ЭОП; 9 – пульт управления; 10 – формирователь импульсов; 11 – импульсный лазерный излучатель

В состав системы входят: входной объектив, формирующий поле зрения системы, полосовой УФ-фильтр, обеспечивающий спектральную селекцию принимаемого излучения; ЭОП с микроканальными пластинами, усиливающий яркость изображения поля зрения; согласующий объектив для переноса изображения с экрана ЭОП на матрицу ТВ-камеры; блок обработки изображений; формирователь импульсов стробирования ЭОП; пульт дистанционного или автономного управления режимами работы и регулировки параметров системы; формирователь импульсов подсвета; полупроводниковый излучатель; объектив излучателя, формирующий угол подсветки объектов; устройство отображения.

Использование активно-импульсного режима работы системы в ближнем УФ-диапазоне позволит существенно увеличить информацию об объекте наблюдения. Сравнение характеристик объектов в различных спектральных диапазонах – инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом – позволяет проводить идентификацию объектов, поиска материалов с известными характеристиками и объектов. Использование АИТВС в сочетании с подсветкой в разных спектральных диапазонах позволит создать пространственную картину зоны наблюдения и существенно упростить поиск объектов с заданными характеристиками.

Подсвет зоны наблюдения УФ-излучением может вызывать эффект люминесценции в видимом и ИК-диапазонах [10], при этом изменение изображения объектов является дополнительным признаком при обнаружении наземных объектов, поглощение отдельных спектральных составляющих позволяет идентифицировать объекты в зоне наблюдения.

При уменьшении длины волны излучения возрастают потери в среде, что приводит к уменьшению дальности наблюдения. По результатам исследований [11] установлено, что при УФ-подсвете уровень люминесценции практически не зависит от яркости источника УФ-излучения, а яркость излучения объекта, как правило, ниже излучения фона. Значение контраста объект–фон в диапазоне длин волн люминесценции может иметь величину 0,1. Для получения качественного изображения используются спектрально-фильтры, позволяющие получить контрастные изображения на фоне солнечного излучения.

Разработан импульсный источник подсвета на основе УФ-диодов [12] повышенной мощности со следующими характеристиками: длительность импульса 10 нс, длительность фронта и спада импульса менее 1 нс, длина волны излучения  $\lambda_{\text{изл}}$  390–400 нм, импульсная оптическая мощность более 100 Вт, напряжение источника питания 165–250 В, габариты устройства 190×140×60 мм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по проекту № 8.9562.2017/8.9 и РФФИ в рамках научно проекта № 16-47-700939.

#### Литература

1. Горелик С.Л. Телевизионные измерительные системы / С.Л. Горелик, Б.М. Кац, В.И. Киврин. – М.: Связь, 1980. – 168 с.
2. Якушенков Ю.Г. Методы борьбы с помехами в оптико-электронных приборах / Ю.Г. Якушенков, В.Н. Луканцев, М.П. Колосов. – М.: Радио и связь, 1981. – 180 с.
3. Хадсон Р. Инфракрасные системы / пер. с англ.; под ред. Н.В. Васильченко. – М.: Мир, 1972. – 534 с.
4. Гейхман И.Л. Основы улучшения видимости в сложных условиях / И.Л. Гейхман, В.Г. Волков. – М.: Недра-Бизнес-центр, 1999. – 286 с.
5. Кирпиченко Ю.Р. Видеоинформационные системы наблюдения и контроля при сложных условиях видимости / Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2 (26), ч. 1. – С. 105–110.
6. Карасик В.Е. Лазерные системы видения: учеб. пособие / В.Е. Карасик, В.М. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
7. Пат. РФ №2597889. Строблируемая телевизионная система с импульсным источником подсвета / Ю.Р. Кирпиченко. – Опубл. 20.09.2016 г., бюл. № 26.
8. Пат. РФ №2406100. Активно-импульсная телевизионная система / Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский. – Опубл. 10.08.2010 г. Бюл. № 34.
9. Белов М.Л. Сравнительный анализ мощности входных сигналов лазерных систем локации и видения

ультрафиолетового диапазона / М.Л. Белов, В.А. Городничев, О.Е. Пашенина. – М.: Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2013. – С. 255–270.

10. Бункин Ф.В. Лидарное зондирование водоемов, почвы и растительности / Ф.В. Бункин, А.Ф. Бункин // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – № 1. – С. 28–31.

11. Формирователь оптических импульсов для спектрально-анализируемых люминесцентных измерений / Б.И. Авдоченко, Д.Т. Валиев, Е.Ф. Полисадова и др. // 19-я Международная науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж, 16–18 апр. 2013. – Воронеж, 2013. – Т. 1. – С. 170–173.

---

#### Пустынский Иван Николаевич

Д-р техн. наук, профессор каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа  
Тел.: (382-2) 41-34-23, 8-923-410-48-87  
Эл. адрес: in@tu.tusur.ru

#### Авдоченко Борис Иванович

Д-р техн. наук, профессор каф. радиоэлектроники и защиты информации ТУСУРа  
Тел.: (382-2) 41-33-65  
Эл. адрес: B.I.Avdochenko@rzi.tusur.ru

#### Зайцева Екатерина Викторовна

Канд. техн. наук, ст. преподаватель каф. ТУ  
Тел.: (382-2) 70-15-04  
Эл. адрес: katerinka\_zev@mail.ru

#### Курячий Михаил Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ  
Тел.: (382-2) 41-33-80  
Эл. адрес: kur@tu.tusur.ru

#### Кирпиченко Юрий Романович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ  
Тел.: (382-2) 70-15-04  
Эл. адрес: kirp@tu.tusur.ru

#### Капустин Вячеслав Валериевич

Аспирант каф. ТУ  
Тел.: (382-2) 70-15-04  
Эл. адрес: peregun@mail.ru

Pustynsky I.N., Avdochenko B.I., Zaytseva E.V., Kuryachiy M.I., Kirpichenko Yu.R., Kapustin V.V.  
**Methods and means to increase noise immunity and quality of images of active and impulse television computing systems**

The article relates how to increase noise immunity and quality of image using hardware-software methods and means of the active and impulse television computing systems developed at department of television and control.

**Keywords:** application-oriented television, television systems, operation modes, quality of images.