

УДК 621.391.812

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

Коррекция искажений видеосигнала в активно-импульсных телевизионных системах

Рассмотрены искажения формы видеосигнала в активно-импульсных телевизионных системах шумами и помехами на трассе наблюдения. Показано, что наличие оптических неоднородностей на трассе наблюдения приводит к появлению на видеоизображении отраженных сигналов инфракрасного подсвета и дополнительно подсвеченных объектов. Предложены методы уменьшения искажений видеосигнала путем оптимизации полосы пропускания видеотракта, применения укороченных импульсов подсвета и синхронизации в активно-импульсных телевизионных системах.

Ключевые слова: наблюдение в сложных условиях, оптимальная полоса пропускания, обратные отражения, моделирование условий наблюдения, изменение формы видеосигнала.

Непрерывно повышающиеся требования к точности и разрешающей способности активно-импульсных телевизионных систем (АИТВС) вызывает необходимость поиска новых методов и аппаратно-программных средств коррекции искажений видеосигнала в телевизионных датчиках. Широкое внедрение АИТВС в народное хозяйство сдерживается сравнительно низкой точностью преобразования оптического изображения в электрический сигнал, сложными условиями наблюдения, электрическими и оптическими помехами, несовершенством программ обработки сигналов.

В работе приведены результаты исследований по минимизации погрешностей при получении и обработке видеосигнала в АИТВС за счет обеспечения максимального отношения сигнал/шум и минимизации погрешности измерения временного положения фронтов видеосигнала, позволяющие значительно повысить чувствительность системы при сложных условиях наблюдения.

Обобщенная структурная схема АИТВС приведена на рис. 1.

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 распространения.

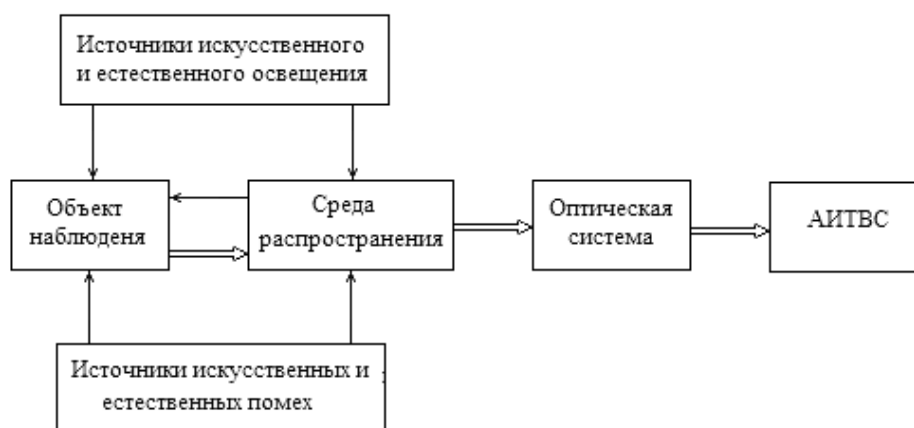


Рис. 1. Обобщенная схема АИТВС в сложных условиях наблюдения

Собственное и отраженное излучение объекта наблюдения, отражения неоднородностями трассы наблюдения, искусственные и естественные помехи проходят через промежуточную среду (атмосферу или другую среду, ослабляющую излучение) и улавливаются оптической системой прибора, направляющей их на приемник излучения – АИТВС.

Оптимизация полосы пропускания видеотракта. Типовым приемом по повышению отношения сигнал/шум является оптимальная фильтрация сигнала, в результате которой устанавливается оптимальная форма частотной характеристики. Рассмотрим условия оптимизации полосы пропус-

кания АИТВС. В [1] рассмотрены подходы по максимизации качества информации путем усечения спектра принимаемого в условиях шумов сигнала. Показано, что оптимальной верхней частотой в условиях значительных шумов, обеспечивающей максимум качества информации, является частота, на которой отношение сигнал/шум равно единице. Сокращение полосы частот ведет к излишним потерям информации, а расширение снижает ее качество из-за увеличения шума.

При измерениях временного положения фронта видеосигнала в случае значительного превышения сигнала над шумом дисперсия погрешности определяется выражением [2]

$$\sigma_{\text{фр.пр}}^2 = I_{\text{шп.вых}}^2 / |i'_{\text{с.п.вых}}|^2, \quad (1)$$

где $I_{\text{шп.вых}}^2$ – дисперсия шумового тока на выходе фильтра на уровне порога; $i'_{\text{с.п.вых}} = di_{\text{с.п.вых}}/dt$ – крутизна фронта видеосигнала на выходе фильтра в момент $t=t_{\text{п}}$ пересечения порога. Дисперсия шума на выходе фильтра с импульсной реакцией $g(t)$

$$I_{\text{шп.вых}}^2 = K_{\text{ут}0}^2 \int_{-\infty}^t N(\tau)g^2(t-\tau)d\tau = K_{\text{ут}0}^2 \int_0^{\infty} N(t-\tau)g^2(\tau)d\tau, \quad (2)$$

где $K_{\text{ут}0}$ – коэффициент передачи фильтра на средних частотах.

Крутизна фронта видеосигнала

$$i'_{\text{с.п.вых}} = K_{\text{ут}0} \int_{-\infty}^t i'_{\text{с}}(\tau)g^2(t-\tau)d\tau = K_{\text{ут}0} \int_0^{\infty} i'_{\text{с.п.вых}}(t-\tau)g(\tau)d\tau. \quad (3)$$

Подставив выражения (2) и (3) в (1), при $t = t_{\text{п}}$ получим

$$\sigma_{\text{фр}}^2 = \frac{\int_0^{\infty} N(t_{\text{п}}-\tau)g^2(\tau)d\tau}{\left[\int_0^{\infty} i'_{\text{с}}(t-\tau)g(\tau)d\tau \right]^2}. \quad (4)$$

Эффективность квазиоптимальной фильтрации оценивается отношением

$$\eta_{\text{ф}} = \sigma_{\text{фр.пр}}^2 / \sigma_{\text{фр}}^2.$$

Результаты численных расчетов, проведенных на ЭВМ по формуле (4) для точечного объекта и круглой апертуры с гауссовским распределением прозрачности при использовании многокаскадного

корректированного усилителя с развязанными каскадами (n -звенный RC-фильтр) с импульсной характеристикой, приведенной в работе [2], показали, что имеются оптимальные значения полосы пропускания, при которых эффективность $\eta_{\text{ф}}$ достигает максимального значения. Зависимости нормированной полосы частот $b_{0,7n}$ (на уровне 0,707) n -звенного RC-фильтра для различного числа звеньев приведены на рис. 2.

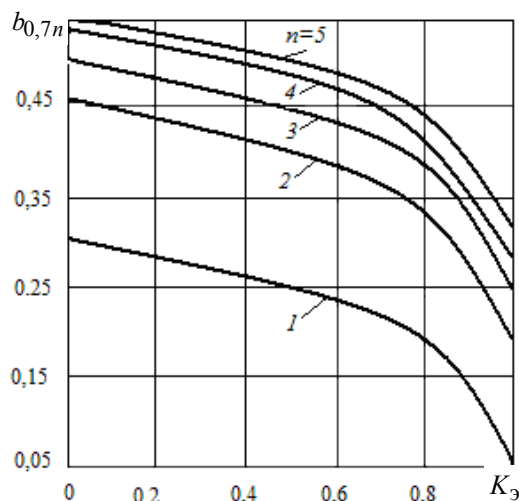


Рис. 2. Зависимость оптимальной безразмерной полосы частот от электрического контраста ($K_э$) для различного числа звеньев фильтра

Из рис. 2 следует, что минимальная дисперсия погрешности измерения временного положения фронта видеосигнала не совпадает с максимальной крутизной фронта видеосигнала. Таким образом, ценой оптимальной фильтрации видеоизображения является увеличение фронта видеосигнала, вызванное необходимостью уменьшения полосы пропускания видеотракта в условиях помех.

Влияние внешних условий трассы на качество изображения. В сложных условиях наблюдения из-за отражения и рассеяния оптического сигнала от микрочастиц тумана, дыма, дождевых ка-

пель снижается уровень освещенности объектов, и в АИТВС требуется повышение мощности импульсов инфракрасного (ИК) подсвета [3]. Однако с увеличением уровня подсвета увеличивается фоновая составляющая видеоизображения, определяемая отражением от оптических неоднородностей до зоны наблюдения, существенно изменяющая динамический диапазон яркостей от объектов наблюдения.

Рассмотрим упрощенную схему прохождения сигнала ИК-подсвета объекта по трассе, приведенную на рис. 3 [3].

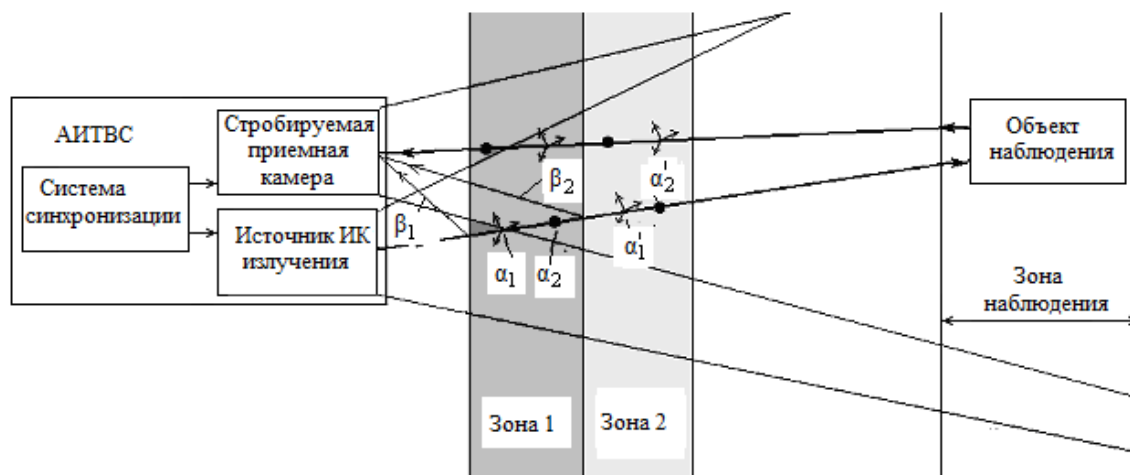


Рис. 3. Схема прохождения импульса подсвета по трассе наблюдения

Проходя по среде распространения, при входе в зону 1 сигнал подсвета объектов наблюдения отражается от оптических неоднородностей и возвращается к АИТВС с коэффициентом обратного отражения β , где складывается с сигналом от объекта наблюдения.

Затухание ИК-сигнала в зоне 1 зависит от коэффициента потерь в среде α , определяемого коэффициентом рассеивания от микрочастиц α_1 и коэффициентом поглощения α_2 . Все эти коэффициенты взаимосвязаны и определяются размерами и количеством аэрозольных частиц. При известном размере неоднородностей по уровню отраженного сигнала β можно определить коэффициент рассеивания α_1 и коэффициент поглощения α_2 . В ближнем ИК-диапазоне, используемом для подсвета объектов, ослабление уровня излучения вызвано в основном аэрозольным рассеиванием. При этом аэрозольным поглощением, молекулярным рассеиванием и молекулярным поглощением можно пренебречь [4]. С незначительной погрешностью можно установить однозначную связь между коэффициентом обратного отражения β и коэффициентом рассеивания:

$$\beta = \frac{\alpha_1}{4\pi}.$$

Коэффициент ослабления уровня излучения за счет аэрозольного рассеивания зависит от длины волны λ и расстояния l :

$$K(\lambda, l) = \exp \alpha_1(\lambda, l).$$

В реальных условиях зоны с постоянными значениями коэффициентов обратного отражения и рассеивания встречаются редко, как правило, на трассе работы ТВ датчика наблюдаются плавные изменения коэффициентов. Значения коэффициентов ослабления при прохождении такой трассы на расстоянии R определяются на основе интегральных соотношений:

$$\alpha(R) = 4\pi \int_0^R \beta(\lambda, l) dl.$$

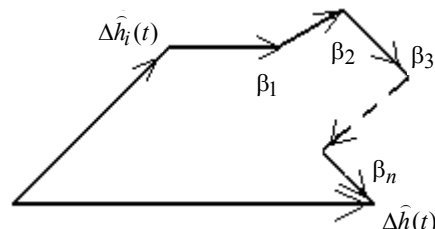
Интегральная связь между пространственными характеристиками среды и переходными характеристиками сигнала от объекта наблюдений затрудняет вычисления. Предложенный в [5] подход, основанный на аппроксимации характеристик рядом Фурье, удобен для описания типовых зависимостей изменения $\beta(l)$ и оценки их влияния на форму видеосигнала. Работа АИТВС при наличии оптических помех и неоднородностей на трассе наблюдения приводит к векторному сложению полезного и мешающего сигналов, которое можно представить в виде многоканальной модели [5]. Наличие многократных отражений приводит к изменению формы полезного сигнала.

Особенностью работы АИТВС являются отражения от неоднородностей, находящихся в диаграмме направленности подсвечивающей системы. Кроме того, спектр принимаемых АИТВС-сигналов близок к монохроматическому из-за узкого спектра ИК-подсветки. Модель, описывающая искажения переходной характеристики (ПХ) видеосигнала с учетом особенностей АИТВС, приведена на рис. 4. Здесь измененная ПХ объекта наблюдения представлена в виде

$$\hat{h}(t) = \hat{h}_i(t) + \Delta\hat{h}_i(t), \quad (5)$$

где $\Delta\hat{h}_i(t) = \hat{h}(t) - \hat{h}_i(t)$ – изменения в ПХ, вызванные отражениями от оптических неоднородностей $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ на трассе наблюдения.

Рис. 4. Модель искажения сигнала при наличии многократных отражений



Длина и временная задержка каждого вектора в конкретных условиях наблюдения могут быть определены экспериментальным путем по временной зависимости коэффициента затухания от расстояния на трассе наблюдения $\alpha(l)$. Возможные варианты зависимостей $\alpha(l)$, по-разному расположенных относительно объекта наблюдения, представлены на рис. 5.

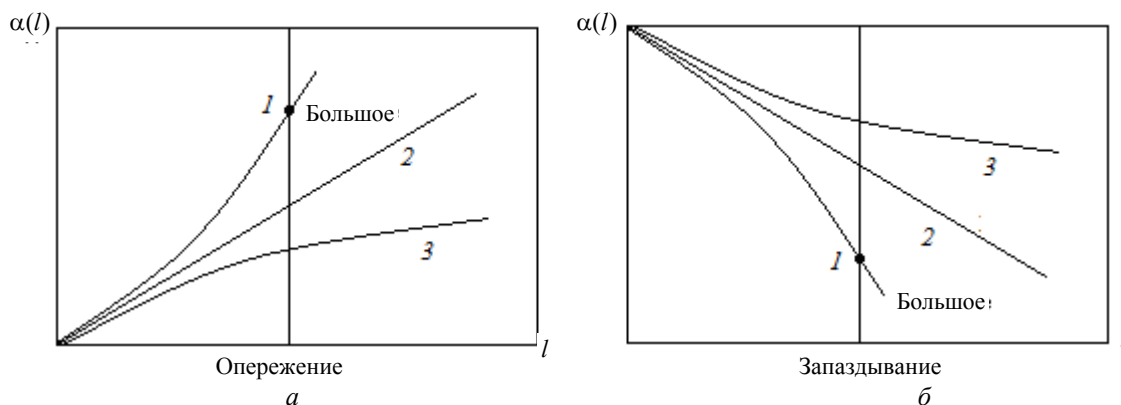


Рис. 5. Зависимости коэффициента затухания от расстояния до объекта наблюдения:
 а – при расположении неоднородностей среды перед объектом наблюдения;
 б – при расположении неоднородностей среды после объекта наблюдения

При расположении неоднородностей среды перед объектами наблюдения (см. рис. 5, а) сигналы отражений от неоднородностей опережают сигналы от объектов наблюдения. При этом уровень сигнала подсвета и соответственно уровень сигнала от объектов наблюдений будут уменьшены пропорционально затуханию на трассе наблюдения [3]. При расположении неоднородностей среды после объектов наблюдения (см. рис. 5, б) сигналы отражений от неоднородностей запаздывают относительно сигналов от объектов наблюдения. В этом случае потери сигнала подсвета, вызванные неоднородностями среды, отсутствуют. При расположении отражений от неоднородностей на трассе вне объекта наблюдения возникающие помехи удаляются правильным выбором временного интервала наблюдений.

Рассмотрим типовые зависимости коэффициента затухания от расстояния на трассе наблюдения $\alpha(l)$ и их влияния на форму наблюдаемого видеосигнала при совпадении во времени помех от трассы наблюдения и видеосигналов от объектов наблюдения.

Постоянные метеоусловия на трассе наблюдения. В случае постоянных метеоусловий на трассе наблюдения, т.е. зависимости коэффициента затухания от расстояния на трассе наблюдения $\alpha(l) = \text{const}$, на трассе происходят потери сигнала. Как показано в [4], коэффициент потерь среды $\alpha(l)$ может быть определен по метеорологической дальности видимости S_M в зоне наблюдения

$$\alpha = \frac{3,91}{S_M} \left(\frac{550}{\lambda} \right)^{0,585 \times \sqrt[3]{S_M}}$$

где метеорологическая дальность S_m , измеренная на длине волны 550 нм, выражена в километрах, длина волны ИК-излучения λ – в нанометрах, коэффициент потерь α – в обратных километрах.

Ухудшение условий наблюдения при увеличении расстояния до наблюдаемого объекта. Рассмотрим возрастание коэффициента потерь на трассе наблюдения с увеличением расстояния до зоны наблюдения, показанной на рис. 5, *a* и *б*, в виде зависимости 1.

Временная зависимость отражений от неоднородностей трассы наблюдения сигналов $\Delta h_i(t)$ в выражении (5), по-разному расположенных относительно объекта наблюдения (объект предполагается расположенным в точке $t = 0$), приведена на рис. 6.

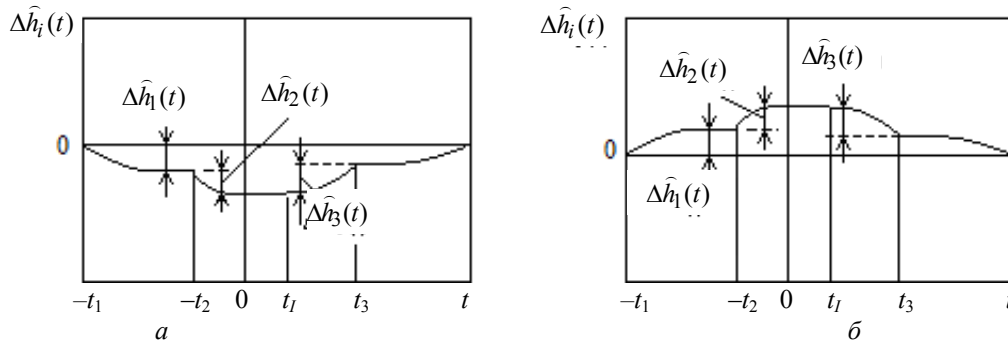


Рис. 6. Временная зависимость $\Delta h_i(t)$:

a – интервал от до 0 – возрастание затухания, интервал от t_3 и далее – уменьшение затухания;
б – интервал от t_1 до 0 – уменьшение затухания, интервал от t_3 и далее – возрастание затухания

Возрастание потерь на трассе наблюдения приводит к отражениям от неоднородностей, действие которых проявляется в моменты t_1 t_2 (см. рис. 6, *a*) и t_3 (рис. 6, *б*) в виде уменьшения уровня отраженного сигнала ($\Delta h_1(t)$ и $\Delta h_2(t)$ (см. рис. 6, *a*), ($\Delta h_3(t)$ (см. рис. 6, *б*)). При совмещении времен задержек от неоднородностей и объекта наблюдения происходит наложение отражений и в результате изменяется яркость объекта наблюдения или его части при большей протяженности объекта.

Улучшение условий наблюдения при увеличении расстояния до наблюдаемого объекта. Уменьшение затухания сигнала на трассе наблюдения с увеличением расстояния до зоны наблюдения показано на рис. 5, *a* и *б* в виде зависимости (3). Вызванные подобной зависимостью изменения в яркости объекта наблюдения в моменты времени $t_3 - t_4$ (см. рис. 6, *a* и $t_1 - t_2$ (см. рис. 6, *б*)) уменьшают изменения в яркости объекта наблюдения на соответствующую величину $\Delta h_3(t)$ (см. рис. 6, *a*), $\Delta h_1(t)$ и $\Delta h_2(t)$ (см. рис. 6, *б*).

Заключение. Наличие опережающих или запаздывающих сигналов подсвета от неоднородностей на трассе наблюдения приводит к появлению дополнительных видеоизображений как самих отраженных сигналов, так и дополнительно подсвеченных объектов, отсутствующих в нормальных условиях наблюдений. Это необходимо учитывать при разработке алгоритмов обработки сигналов.

Особенно интересным является эффект дополнительной подсветки объектов наблюдения при наличии уменьшающихся с расстоянием потерь, увеличивающих яркость объектов. При небольших расстояниях и резком уменьшении потерь перед объектом наблюдения возможно получение яркости, превышающей яркость в нормальных условиях наблюдения при той же мощности источника подсвета.

Для уменьшения влияния состояния трассы наблюдения на видеоизображение объекта наблюдения наиболее перспективным представляется обработка полученных видеоизображений с использованием преобразования Гильберта и применение в аппаратной реализации укороченных импульсов подсвета и синхронизации АИТВС вплоть до субнаносекундных импульсов, что планируется использовать в дальнейших исследованиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/225 по НИР «Исследование и разработка методов и средств повышения качества изображений активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем видения в сложных метеоусловиях и малопрозрачных средах» (код проекта 3643).

Литература

1. Цыцулин А.К. Твердотельные телекамеры: накопление качества информации / А.К. Цыцулин, Д.Ю. Адамов и др. – СПб.: Изд-во СПбГТУ «ЛЭТИ», 2014. – 272 с.
2. Кирпиченко Ю.Р. Датчики телевизионно-вычислительных систем: учеб. пособие для вузов / Ю.Р. Кирпиченко, И.Н. Пустынский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: В-Спектр, 2014. – 176 с.
3. Авдоченко Б.И. Моделирование уровня инфракрасного подсвета по трассе наблюдения телевизионного датчика // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2009. – № 2 (20). – С. 11–15.
4. Савин А.В. Доплеровские метеолидары для систем обеспечения вихревой безопасности полетов / А.В. Савин, М.А. Коняев // Метеоспектр. – 2008. – № 1. – С. 147–152.
5. Авдоченко Б.И. Модели и структуры аналоговых устройств пикосекундного диапазона. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 96 с.

Авдоченко Борис Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. радиоэлектроники и защиты информации ТУСУРа

Тел.: 8 (382-2) 41-33-65

Эл. почта: AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru

Зайцева Екатерина Викторовна

Аспирант каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа

Тел.: 8 (382-2) 70-15-04

Эл. почта: katya@tu.tusur.ru

Кирпиченко Юрий Романович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ

Тел.: 8 (382-2) 41-34-30

Эл. почта: kirp@tu.tusur.ru

Курячий Михаил Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ

Тел.: 8 (382-2) 41-33-80

Эл. почта: kur@tu.tusur.ru

Пустынский Иван Николаевич

Д-р техн. наук, профессор каф. ТУ

Тел.: 8 (382-2) 41-34-23

Эл. почта: in@tu.tusur.ru

Avdochenko B.I., Zaytseva E.V., Kirpichenko Yu.R., Kuryachiy M.I., Pustynsky I.N.

Correction of video signal distortions in active and pulse television systems

The paper considers distortions of video signals in active and pulse television system by noise and disturbances on the observation path. It is shown that optical nonuniformity on the observation path leads to reflected signals of infrared illumination and illuminated objects in a video image. We offer methods of reduction of video signal distortions by a pass-band optimization of a video path, chopped illumination impulses and synchronization application in active and pulse television systems.

Keywords: supervision in difficult conditions, optimum pass-band, return reflections, supervision conditions modeling, form of video signal change.