

На правах рукописи

Басекеев Адилбек Алимжанович

**МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ
В СИСТЕМАХ ТЕЛЕВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ
УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 05.12.04 - радиотехника, в том числе системы
и устройства телевидения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2009

Общая характеристика работы

Актуальность темы. На современном этапе необходимо осуществить переход к телевизионным (ТВ) системам, реализующим автоматизированный в текущем времени ситуационный контроль с опознаванием и с конкретизацией, без участия оператора, необходимой реакции исполнительской составляющей системы на развитие ситуации в пределах контролируемого пространства. Однако решение указанной актуальной задачи невозможно осуществить без проведения научно-технических работ, обеспечивающих увеличение эффективности обнаружения информационных изменений в структуре контролируемых изображений и возможность прецизионной оценки обнаруженных изменений по ограниченному ансамблю формализованных параметров (признаков идентификации) при предельно неблагоприятных условиях реализации видеоконтроля.

Экономически, на наш взгляд, выгодно определить и разработать ограниченное число типовых, минимизированных по количеству элементов оборудования, вариантов типовых систем автоматизированного видеоконтроля, реализующих эффективное и относительно полное целевое решение ограниченного круга задач для наиболее часто встречающихся, и в тоже время существенно разнородных, условий применения. Комбинирование таких вариантов для решения более сложных, комплексного типа, задач видеоконтроля существенно упростит реализацию распределённых систем контроля, удовлетворяющих по характеристикам функционирования подавляющее число пользователей. При этом одним из наиболее сложных и вместе с тем актуальных для настоящего времени является вариант автоматизированного видеоконтроля удалённых объектов с неортогональным позиционированием ТВ камеры по отношению к подстилающей поверхности. Это в основном определяется возникновением сопутствующих такому варианту искажений масштаба структуры изображений и необходимостью передачи видеоинформационных сигналов на относительно большие расстояния с использованием узкополосных каналов связи.

Решение задач формирования и цифровой обработки информационных сигналов в системах ТВ контроля объектов в автоматическом режиме должно также осуществляться на основе исследования специфики преобразований и искажений ТВ сигналов в оптическом и электрическом тракте подобных систем.

Именно такой подход использовался в представленной диссертационной работе. Полученные при этом результаты теоретических и экспериментальных исследований специфики искажений обеспечили основу для разработки эффективных методов и устройств формирования необходимых информационных сигналов и данных, представленных в диссертации.

Цель и задачи работы. Целью настоящей диссертационной работы является разработка эффективных методов, алгоритмов и устройств формирования и преобразования сигналов изображений в системах ТВ контроля объектов. использованием которых обеспечивается выделение информационных составляющих в структуре контролируемых изображений, оценка ограниченного ансамбля соответствующих формализованных параметров (признаков идентификации текущей ситуации), передача и архивирование необходимых информационных сигналов и данных.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие научно-практические задачи:

1. Предложен вариант построения системы контроля удалённых объектов с параллельной, селективно-логического типа, относительной оценкой их состояния.
2. Исследована специфика преобразования масштабно-пространственных параметров видеoinформации и разработан дискретно-периодический алгоритм масштабных преобразований изображений при наземном ТВ контроле.
3. Разработана методика оценки искажений оптического отображения объектов в датчиках ТВ сигнала для случая неортогонального видеоконтроля.
4. Исследованы характеристики дискретизации сигналов изображений в матричных преобразователях "свет-сигнал" на приборе с зарядовой связью (ПЗС).
5. Проведён анализ специфики преобразований функции пространства видеоконтроля в зависимости от высоты установки, угла наклона ТВ камеры и угла поля зрения её оптической системы.

6. Разработаны основы параметрической оценки и метод сжатия спектра видеоинформационных сигналов для ТВ контроля удалённых объектов.
7. Разработан метод и алгоритм реализации удалённого видеоконтроля с дискретно ступенчатым прослеживанием объектов.
8. Разработаны устройства формирования сигналов, сигнализации и сжатия для систем видеоконтроля объектов и получены результаты экспериментальных исследований (моделирования на ЭВМ).

Методы исследования. При решении поставленных задач в данной работе использованы современные методы анализа и элементы теории радиотехники, функций и функционального анализа, радиотехнических цепей, телевидения, дискретизации и цифровой обработки многомерных сигналов, численного интегрирования и дифференцирования, линейной алгебры и геометрии, методы спектрального анализа Фурье и др.

Научная новизна работы.

1. Проведен анализ искажений ТВ контроля пространственных размеров объектов и разработана методика вычисления номинальной величины угла при оптическом проецировании объектов на светочувствительную поверхность (СВП) преобразователя «свет-сигнал».
2. Конкретизированы особенности относительных масштабных преобразований составляющих пространственной структуры изображений и установления режима работы ТВ камеры при неортогональном видеоконтроле.
3. Определена основная специфика весового перераспределения и преобразований составляющих пространственного спектра объектов в зависимости от параметров их позиционирования в области ТВ контроля.
4. Разработана методика анализа пространственно-частотных характеристик дискретизации сигналов изображений в твердотельных, матричного типа, преобразователях «свет-сигнал».
5. Показана целесообразность уменьшения степени высокочастотной коррекции амплитудно-частотной характеристики видеотракта в системах цифрового телевидения.

6. Выявлена необходимость адаптивного изменения таблицы квантования коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП) при сжатии спектра по стандарту MPEG в системах видеоконтроля с неортогональной установкой ТВ камер.
7. Исследованы особенности трансформации пространственно-временного спектра сигналов изображений подвижных объектов в зависимости от скорости их перемещения в пространстве видеоконтроля.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

1. Полученные в работе теоретические результаты и расчётные соотношения обеспечивают осуществление количественной оценки сопутствующих неортогональному варианту видеоконтроля масштабно-пространственных изменений параметров сигналов изображений объектов. Этим фактически создана основа для увеличения эффективности опознавания последних, что позволяет приступить к разработке нового поколения систем, реализующих ТВ контроль в автоматическом режиме.
2. Предложен дискретно-периодический алгоритм преобразования видеоинформации в системах ТВ контроля, который увеличивает эффективность их функционирования в случаях, когда имеет место фиксация расстояний в контролируемом пространстве. При этом в системе видеоконтроля следует перейти к параметрическому определению изображения текущего контроля в трёхмерной форме, что увеличивает эффективность решения задач опознавания и учёта специфики поведения объектов в пределах заданных интервалов времени.
3. Внедрение разработанных в диссертации методов, алгоритмов и устройств дискретно-ступенчатого прослеживания, формирования, сжатия спектра оценки изменений сигналов изображений объектов позволяет в ТВ системах контроля существенно снизить скорость передачи в канале связи цифровых информационных сигналов и сформированных данных по сравнению с существующими вариантами реализации.
4. Проведены экспериментальные исследования масштабно-пространственных изменений параметров сигналов изображений объектов и разработанного

алгоритма формирования сигнала локализации подвижного объекта при реализации неортогонального ТВ контроля.

Теоретические и практические результаты работы использованы при проведении учебного процесса на кафедре телевидения им. С.И. Катаева МТУСИ, при выполнении НИР в лаборатории "Цифровая обработка телевизионных сигналов" (НИЛ-11) НИЧ МТУСИ и внедрены ООО «Интерхим» при проектировании и разработке оборудования для систем контроля удаленного доступа.

Основные положения, теоретические выводы и рекомендации, представленные в материалах данной диссертационной работы, получены автором самостоятельно.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, МТУСИ, Москва, 2004-2006 г.г.

Публикации. Материалы диссертационной работы опубликованы в научных работах и представлены в отчетах по НИР проведенных в НИЛ-11 НИЧ МТУСИ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 171 страницах машинописного текста. Список литературы включает 64 наименования.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Разработанный адаптивный вариант построения системы контроля удаленных объектов с комплексной оценкой их состояния.
2. Результаты исследования и масштабно-пространственных преобразований видеоинформации в системах ТВ контроля объектов и разработанная методика оценки искажений оптического отображения объектов в датчиках ТВ сигнала.
3. Разработанный дискретно-периодический алгоритм масштабных преобразований видеоинформации в системах наземного ТВ контроля.
4. Результаты и соотношения, полученные при анализе характеристик дискретизации сигнала изображений в матричных датчиках ТВ сигнала.
5. Результаты анализа конфигурации пространства видеоконтроля в зависимости от параметров установки ТВ камеры.

6. Разработанные принципы параметрической оценки и метод сжатия спектра сигналов изображений для систем неортогонального ТВ контроля.
7. Разработанный метод и алгоритм реализации удалённого видеоконтроля с дискретно-ступенчатым прослеживанием объектов.
8. Разработанные устройства формирования сигналов, сигнализации и сжатия для систем видеоконтроля объектов, результаты экспериментальных исследований и моделирования на ЭВМ.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы настоящей диссертационной работы, показано состояние данному направлению, определены цель, задачи и методы исследований. Сформулированы научная новизна, практическая значимость результатов работы и положения, выносимые на защиту. Представлены состав и краткое описание работы, приведены сведения об апробации работы и публикациях автора.

В первой главе диссертации «Специфика характеристики и параметры информационных сигналов систем наземного видеоконтроля удалённых объектов» проведено сопоставление вариантов систем ТВ контроля удалённых объектов. Особенности предложенной в первом разделе данной главы структурной схемы комплекса контроля является наличие обратных связей, позволяющих осуществить адаптационную перестройку его режима функционирования, и взаимодополняющий по отношению телевизионному контролю основных характеристик состояния объекта.

В структуру общего комплекса контроля состояния объекта входят (кроме телевизионной системы) и параллельно действующие системы на иных извещателях, обеспечивающие взаимодополняющий контроль электромагнитного излучения от контролируемого пространства за пределами видимого для ТВ датчиков диапазона частот, т.е. по другим направлениям многомерного пространства.

Соответствующие информационные сигналы и данные поступают на блоки независимой обработки и контроля, затем на блоки интегрально-логической оценки состояния в контролируемом пространстве и передачи (приёма) сигналов архивирования, управления и данных. Через канал связи сформированные сигналы

и данные поступают (в пакетированном виде) на опорный пункт, где осуществляют архивирование информационных сигналов и сигналов, отражающих текущую ситуацию в пространстве контроля, формирование сигналов управления. Последние по обратному каналу связи и через блок интегрально-логической оценки состояния в контролируемом пространстве передают на блок тест-контроля и управления, на который поступают также сигналы от датчиков сигнализации, контроля и оценки состояния. Сигналами с выходов блока тест-контроля и управления осуществляются адаптационные перестройки режима функционирования всего комплекса контроля, отдельных элементов, датчиков и исполнительных устройств.

Масштабно-пространственные преобразования параметров внутрикадровой структуры сигналов изображений в зависимости от условий проецирования соответствующей видеoinформации на СВП преобразователя "свет-сигнал" рассмотрены во втором и третьем разделах первой главы. При этом одним из наиболее универсальных вариантов оценки пространственных размеров контролируемых объектов является контроль соответствующего угла поля зрения в видеoinформационном пространстве с фиксацией расстояния между объектом и камерой. Однако использование такой оценки обуславливает возникновение ошибок. Причём фактическая ошибка ξ_0 оценки размера объекта углом проецирования φ_d в данном случае зависит от расстояния (Z) между объективом и поверхностью идеального ортогонального контроля:

$$\xi_{0z}(\varphi_d) = 2 \cdot Z \cdot (\operatorname{tg} \varphi_d - \varphi_d) = 2 \cdot Z \cdot \varepsilon_0.$$

С учетом реальных пространственных параметров контролируемой видеoinформации (неравномерность расстояний от объекта до оптической системы и распределения, разнородная протяжённость и местоположение объектов) для каждого варианта предельной ошибки в отражении структурных составляющих объекта должно выбираться своё номинальное значение угла оценки размера объекта φ_n по отношению к предельному его значению φ_{np} ($\varphi_n < \varphi_{np}$). Использование функции производной $(D(\varphi_d) = \frac{d\xi_0(\varphi_d)}{d\varphi_d} = \frac{1}{\cos^2 \varphi_d} - 1)$ позволило разработать методику оценки величины φ_n для практически любого заданного значения ошибки в масштабе при проецировании.

Проведённый анализ показал, что масштабные искажения видеoinформационной структуры объекта при ортогональном проецировании в плоскость СВП датчика ТВ сигнала могут не учитываться лишь в том случае, когда его максимальный угловой размер по любому из направлений в пространстве видеоконтроля не превышает 10...12 градусов.

В содержании использовано понятие относительного масштаба оптического отображения объектов в пространство СВП датчика ТВ сигнала при видеоконтроле:

$$m = \frac{L_0}{L} = \frac{\text{ctg}(\theta_0 - \Delta\theta_0) - \text{ctg}(\theta_0 + \Delta\theta_0)}{\text{ctg}(\theta - \Delta\theta) - \text{ctg}(\theta + \Delta\theta)}, \quad (1)$$

где h – высота установки ТВ камеры, L_0 – линейный размер объекта, спроецированного в центр внутрикадрового пространства, L – линейный размер объекта, спроецированного в его периферийную часть, θ_0 – угол проецирования объектов в центр внутрикадрового пространства, θ – угол проецирования объектов в периферийную часть, $2\Delta\theta, 2\Delta\theta_0$ – угловой размер спроецированного объекта. На рис. 1 представлены результаты расчёта функции изменения относительного масштаба контролируемых объектов (выполнены с использованием соотношения (1)) в зависимости от угла оптического проецирования θ для варианта $\Delta\theta = \Delta\theta_0 = -\frac{3\pi}{180}$, $\theta_0 = -\frac{\pi}{4}$.

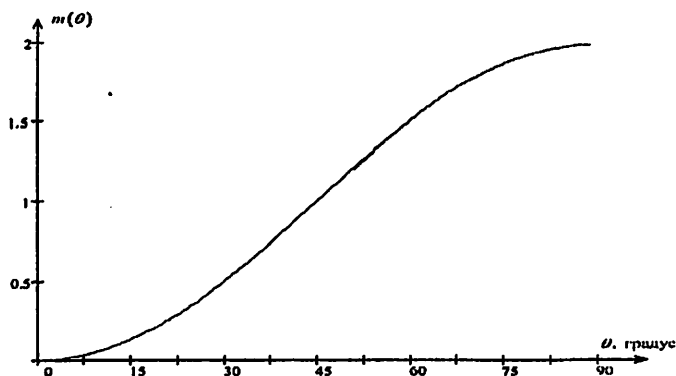


Рисунок 1. График функции изменения относительного размера объекта.

На рис. 2. иллюстрируются преобразования при ТВ контроле пространственной структуры объектов, имеющих одинаковые угловые размеры в пределах СВП ТВ камеры. Здесь O – местоположение оптической системы, обеспечивающей проецирование в плоскость СВП; ПОК и ПНК – плоскости ортогонального и наземного контроля, 1, 2 – варианты плоскостей распределения объектов в контролируемом пространстве, OO – оптическая ось ТВ камеры. В пределы участков СВП, имеющих эквивалентные угловые размеры, в данном случае проецируют поверхности 1, 2, ПОК и ПНК. В соответствии с рис.1. при проецировании в пространство СВП объекта, позиционированного в ПОК, относительные масштабные искажения имеют минимальную величину. По отношению же к вариантам 1, 2, ПОК в пределах ПНК имеет место общее падение относительного масштаба изображений объектов. Относительные масштабные искажения имеют обратный характер динамики масштаба в диапазоне дискретных изменений угла проецирования в пределах поверхностей 1 и ПНК. При этом участок минимальной крутизны изменения относительного масштаба контролируемых объектов простирается в диапазоне углов наклона (по отношению к ортогональному проецированию на СВП) ТВ камеры от $\varphi_0=0^\circ$ до $\varphi_0=50^\circ$, что определяет целесообразность использования в реальных системах ТВ камер с углами наклона в диапазоне $\varphi_0>50^\circ$.

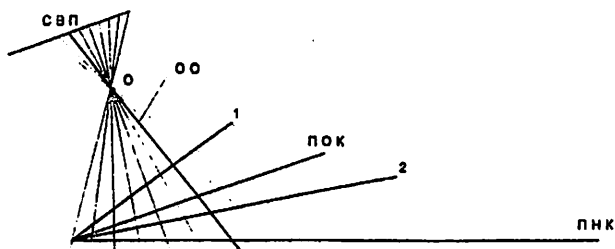


Рисунок 2. Преобразование пространственной структуры объектов при видеоконтроле увеличения числа используемых ТВ камер.

Одним из важных параметров сигнала изображения является контрастность отображения на СВП объекта по отношению к отображению подстилающего

фона. Чувствительность ТВ камеры на ПЗС снижается в области коротких длин волн. Следовательно, контрастность объектов соответствующей окраски на тёмном фоне может падать. При правильном выборе спектрального состава фоновой подсветки с учётом характеристики чувствительности датчика ТВ сигнала и превалирующей окраски контролируемых объектов имеет место общее увеличение эффективности видеоконтроля. Современные ТВ камеры оснащены системой автоматического регулирования режима работы в зависимости от средней освещенности в области видеоконтроля. Относительные масштабные преобразования видеoinформации при отображении на СВП приводят к нелинейному её перераспределению в сигнале изображений. В структуре сигнала возрастает весовая доля составляющих, соответствующих объектам, локализованным в ближней, по отношению к ТВ камере, зоне ПНК и проецированным во внутрикадровое пространство с сопутствующим увеличением относительного масштаба. Соответственно имеет место автоматическая оптимизация режима преобразователя "свет-сигнал" по ближним составляющим общего сигнала изображения и сопутствующее падение контрастности ТВ изображений объектов, расположенных на периферии (по отношению к местоположению ТВ камеры) области ПНК, возникающее из-за несоответствия режима преобразователя "свет-сигнал" уровню их средней освещенности.

Дополнительное падение контрастности объектов на периферии ПНК определяется ограничением светового потока эквивалентной диафрагмой объектива ТВ камеры. При этом степень ограничения тем больше, чем больше отклонение от варианта ортогонального проецирования.

Номинальное значение угла неортогонального проецирования отдельного объекта в пределах ~ 5 градусов, исключая возникновение в пределах его протяжённости существенных масштабных искажений, было вычислено (в разделе 1.3) с использованием разработанной (в разделе 1.2) методики.

Одним из параметров, определяющих специфику проецирования пространственной структуры объекта, является среднее расстояние его позиционирования в пространстве видеоконтроля по отношению к центру СВП. Это расстояние определяет относительный размер (масштаб) изображения данного объекта во внутрикадровом пространстве. При этом каждая точка обращённой к

ТВ камере пространственной структуры контролируемого объекта виртуально проецируется в контролируемом пространстве в плоскость, параллельную СВП ТВ камеры и размещённую на указанном от неё расстоянии. Результат проецирования отображается во внутрикадровое пространство с учётом фиксированных преобразований масштаба в оптической системе ТВ камеры. Соответственно от величины упомянутого расстояния зависит контрастность объекта по отношению к фону и протяжённость соответствующего его изображению пространственного спектра.

С учётом всего этого был разработан дискретно-периодический алгоритм преобразования видеoinформации в системах наземного ТВ контроля. В его основе – дискретизация контролируемого пространства периодической совокупностью плоскостей отображения, параллельных СВП и пересекающихся с рельефом поверхности земли. По ортогональному направлению контролируемое пространство также разделяется дискретной совокупностью четырёхугольных пирамид, имеющих величину углов по диагональным направлениям ≤ 2 градусов. В результате всё контролируемое пространство представляется дискретной совокупностью приблизительно прямоугольных участков. Для каждого из них вычисляется значение коэффициента относительных масштабных преобразований при оптическом отображении в пределы СВП ТВ камеры. Учёт расстояний между СВП и каждым из участков позволяет оценивать реальные масштабные соотношения в пространственной структуре контролируемых объектов и всего пространства в целом. Соответственно упрощается идентификация составляющих структуры ТВ изображений.

Во второй главе «Специфика функционирования, основные параметры и характеристики элементов оборудования систем охраны удалённых объектов» рассмотрены специфика функционирования, характеристики и параметры, искажения сигналов изображений и их коррекция в твердотельных телевизионных камерах на матрицах. При этом показано, что с уменьшением формата фоточувствительных матриц ПЗС динамический диапазон по контрасту снижается: для матриц 1/3 дюйма – в два раза, для матриц 1/4 дюйма – в четыре раза по отношению к матрицам форматом в 1/2 дюйма. С учётом этого в системах контроля удалённых объектов, где имеются существенные падения контраста из-за

потерь в среде от объекта до оптической системы, следует применять ТВ камеры на матрицах ПЗС с форматом 1/2 дюйма. В то же время, несмотря на значительные успехи, достигнутые в последние годы в разработке на основе использования КМОП технологии твердотельных ТВ камер на фотодиодных матрицах с координатной адресацией считывания, трудно ожидать очень быстрого перехода в системах видеоконтроля объектов к повсеместному использованию датчиков данного типа. Это обусловлено тем, что на современном этапе ТВ камеры на фотодиодных матрицах не достигли по уровню вносимых шумов и по чувствительности того уровня, который обеспечивается при использовании матриц на ПЗС. Наличие относительно интенсивной шумовой составляющей и ложных сигналов существенно ограничивает пороговую чувствительность фотодиодных телевизионных камер.

Пороговую чувствительность снижает также мешающее тепловое излучение от транзисторов, используемых в структуре активных пикселей фотодиодных матриц. С увеличением же числа транзисторов, осуществляющих обработку сигнала изображений в ТВ камерах на фотодиодных матрицах, возрастают требования к их энергопотреблению и распределению энергии по спектру излучения.

Во втором разделе диссертации проведён анализ пространственно-частотных характеристик распределения светочувствительных элементов в пределах раstra матрицы ПЗС. При этом относительные характеристики спектров идеализированной структуры распределения светочувствительных элементов и отдельного из них представлены в виде отношений:

$$D_{r_0}(\omega_x, \omega_y) = \frac{D_r(\omega_x, \omega_y)}{D_r(0,0)} = \frac{D_r(\omega_x, \omega_y)}{768 \cdot 576}, \quad (2)$$

$$D_{s_0}(\omega_x, \omega_y) = \frac{D_s(\omega_x, \omega_y)}{D_s(0,0)} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot D_s(\omega_x, \omega_y)}{x_0 \cdot y_0}.$$

Здесь x_0, y_0 – период следования светочувствительных элементов, а коэффициенты α и β определяют отношение между размером светочувствительного элемента и периодом их следования. Относительная характеристика пространственного спектра распределения светочувствительных

элементов в пределах раstra матрицы ПЗС ($D_r(\omega_x, \omega_y)$) отражается произведением указанных соотношениями (2) относительных характеристик:

$$D_r(\omega_x, \omega_y) = \frac{1}{768 \cdot 576} \left[\frac{\sin \frac{(2n_x + 1)}{2} \omega_x x_0}{\sin \frac{\omega_x \cdot x_0}{2}} \cdot \frac{\sin \frac{(2n_y + 1)}{2} \omega_y y_0}{\sin \frac{\omega_y \cdot y_0}{2}} - \frac{\sin((n_x + 1) \omega_x x_0)}{\sin \omega_x \cdot x_0} \cdot \frac{\sin \frac{(2n_y + 1)}{2} \omega_y y_0}{\sin \frac{\omega_y \cdot y_0}{2}} - \frac{\sin \frac{(2n_x + 1)}{2} \omega_x \cdot x_0}{\sin \frac{\omega_x \cdot x_0}{2}} \cdot \frac{\sin((n_y + 1) \cdot \omega_y \cdot y_0)}{\sin \omega_y \cdot y_0} + \frac{\sin((n_x + 1) \cdot \omega_x \cdot x_0)}{\sin \omega_x \cdot x_0} \cdot \frac{\sin((n_y + 1) \cdot \omega_y \cdot y_0)}{\sin \omega_y \cdot y_0} \right] \cdot \frac{\sin \frac{\omega_x x_0}{2\alpha} \sin \frac{\omega_y y_0}{2\beta}}{\frac{\omega_x x_0}{2\alpha} \frac{\omega_y y_0}{2\beta}} \quad (3)$$

На рис.3 представлена характеристика спектра функции светочувствительного элемента и её сечения в горизонтальном, вертикальном и под углом $\varphi_0 = 45^\circ$ в пространстве раstra. Для варианта $\alpha = \beta = 2$ на рис.4 а)-б) представлена двумерная характеристика $D_r(\omega_x, \omega_y)$ и вариант её сечения под углом в пространстве раstra $\varphi_0 = 0^\circ$.

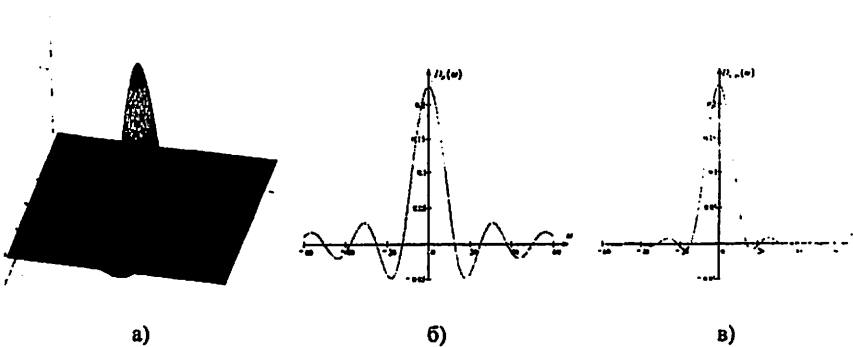


Рисунок 3. Пространственный спектр функции светочувствительного элемента (а) и его сечения: горизонтальное и вертикальное (б), под углом $\varphi_0 = 45^\circ$ по раstrу (в).

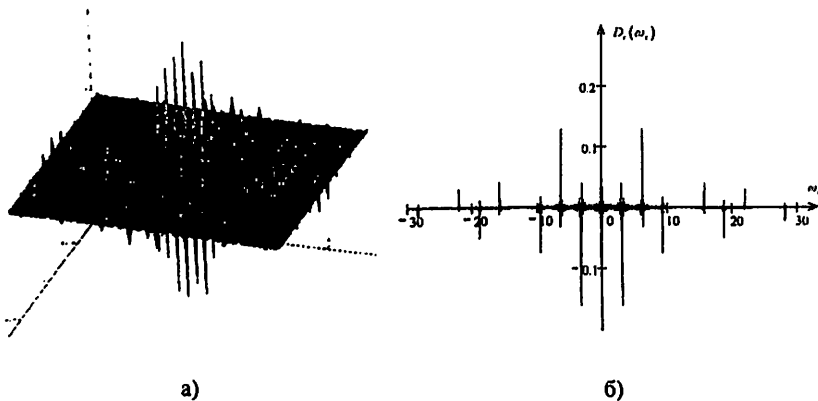


Рисунок 4. Относительная характеристика пространственного спектра распределения светочувствительных элементов в пределах раstra матрицы ПЗС(а) и её сечение при $\varphi_0 = 0^\circ$ (б).

Можно заметить, что здесь остаётся значительной величина второго лепестка спектра. С величиной второго и более далёких лепестков спектра сопряжено пересечение спектров дискретизированной видеoinформации, локализованных в области смежных лепестков. При недостаточной степени подавления высокочастотных составляющих пространственного спектра видеoinформации до дискретизации указанные пересечения приводят в реальных ТВ камерах к возникновению искажений элементов пространственной структуры изображений (вплоть до искажений структуры фона).

В содержании второй главы сопоставлены варианты сквозной АЧХ ТВ трактов и соответствующих импульсных характеристик. В результате выявлено, что чрезмерное увеличение степени высокочастотной (ВЧ) коррекции в цифровых системах ТВ контроля объектов со сжатием может также привести к увеличению уровня искажений в смежных блоках при сжатии, например, по стандарту JPEG. Это связано с различной степенью деформации изображений выбросов в независимых смежных блоках и соответствующим (специфике локальной части общего изображения выброса в данном блоке) усечением высокочастотных составляющих. Следовательно, наличие выбросов провоцирует появление

блочного типа искажений в пределах элементов структуры ТВ изображений, имеющих относительно резкие границы в горизонтальном направлении внутрикадрового пространства. С учётом этого в цифровых системах со сжатием спектра необходимо понижать степень высокочастотной (ВЧ) коррекции АЧХ ТВ тракта. Уровень первого выброса, обусловленного её использованием, не должен на перепадах пространственной структуры ТВ изображений превышать $\approx 0,03 + 0,04$ от величины перепада. Это позволяет пренебречь искажениями от второго выброса и обеспечить существенное снижение заметности блочного эффекта на перепадах относительно большой протяжённости. Такое требование касается и случаев применения двумерной ВЧ коррекции.

Третья глава диссертации «Разработка методов формирования и преобразования видеoinформационных сигналов в системах телевизионного контроля объектов» содержит в первом разделе результаты анализа специфики реализации неортогонального ТВ контроля видеoinформационного пространства. Здесь, в частности, представлены уравнение и соотношения, определяющие изменения конфигурации пространства видеоконтроля в зависимости от параметров установки ТВ камеры: высоты h , угла поля зрения ψ и угла наклона камеры θ . Расчётные оценки указанных изменений были осуществлены с использованием полученного уравнения

$$x^2 + ((y - h) \cdot \cos \theta - z \cdot \sin \theta)^2 - tg^2 \frac{\psi}{2} \cdot ((y - h) \cdot \sin \theta + z \cdot \cos \theta)^2 = 0. \quad (4)$$

Изменения функции $F(x, z)$ пространства неортогонального видеоконтроля на подстилающей поверхности оценивались уравнением (4) при фиксации $y \approx const = 0$.

Показано, что наземный контроль высоко установленной ТВ камерой связан с возникновением относительных масштабных (нелинейных) преобразований при проецировании области видеоконтроля на СВП. В первую очередь такие преобразования приводят к изменениям параметров исходной пространственной структуры изображения и многомерного спектра каждого независимого объекта, совокупность которых определяет пространственный спектр всего контролируемого ТВ изображения. При разработке систем ТВ контроля важно определить влияние преобразований на параметры и характеристики объектов.

определяющие эффективность идентификации последних. Соответственно специфику преобразований масштаба следует учитывать при разработке систем ТВ контроля и алгоритмов функционирования отдельных элементов, осуществляющих обработку и передачу соответствующих информационных сигналов.

В условиях, когда высота объектов ($h_{гА}$), позиционируемых на подстилающей поверхности, значительно уступает высоте (h) установки ТВ камеры ($h \gg h_{гА}$), реальные изменения масштаба определяются их координатами в пределах зоны видеоконтроля по оси z . Это обуславливает необходимость соответствующего (адаптивного) изменения характеристик сжатия (например, таблицы квантования коэффициентов ДКП) при реализации неортогонального видеоконтроля в зависимости от координаты по оси z в соответствующих фрагментах (блоках) изображения. Указанными изменениями достигается уменьшение степени подавления высокочастотных пространственных составляющих в пределах блока, которое пропорционально степени смещения координаты центра блока на оси z от ближайшей к ТВ камере граничной точки к наиболее удалённой, т.е. с уменьшением относительного масштаба проекции самого объекта на СВП ТВ камеры.

Разработке принципов параметрической оценки и метода сжатия спектра сигналов изображений для систем неортогонального ТВ контроля удалённых объектов посвящено содержание второго раздела третьей главы данной работы. Здесь обосновано использование параллельного деления внутрикадровой структуры изображения на две независимые структуры распределения блоков, отличающиеся относительным смещением координат центров соответствующих блоков под углом в 45° на $1/2$ их протяжённости по указанному направлению. Такой вариант позволяет существенно увеличить точность оценки координатного позиционирования межкадровых изменений видеoinформации во внутрикадровом пространстве. На основе логического сопоставления изменений сигналов в эталонном, предшествующем и текущем кадрах в блоках (совпадающих и смежных) этих структур, следует осуществлять определение в данном случае указанных координат. При этом на передающей стороне решается задача селекции ТВ сигналов движущихся объектов и их параметрической оценки. В

содержании второго раздела предложен алгоритм её решения и определены оцениваемые параметры. В их число входят исходные координаты, момент обнаружения нарушений, относительные изменения амплитуды сигнала изображения, площади локализации объекта, момент прекращения общего возрастания площади и др. Должна также осуществляться периодическая фиксация отсчётов функций изменения координат, площади и амплитуды сигналов каждого из независимых объектов, осуществляющих нарушение. По значениям предшествующих оценок осуществляется предсказание в текущем времени новых значений перечисленных параметров. В тех моментах, когда величины отклонений предсказанных значений от фактических превышают заданное пороговое значение, реализуют регистрацию и передачу соответствующих (обновлённых) участков видеoinформации во внутрикадровом пространстве и по межкадровому направлению. Передают также параметры и фрагменты внутрикадровой структуры изображений, отражающие санкционированные изменения опорной видеoinформации.

Пространственная чёткость является важнейшим параметром, определяющим эффективность идентификации подвижных объектов в зоне видеоконтроля. Поэтому в диссертационной работе исследована специфика изменения пространственной чёткости движущихся объектов. В результате показано, что сквозной коэффициент передачи ($K_{0k}(\omega_x, \omega_y)$) процесса оптического проецирования с учётом времени накопления (T_k) в течение кадра определяется в данном случае соотношением:

$$K_{0k}(\omega_x, \omega_y) = T_k \cdot K_{0S}(\omega_x, \omega_y) \cdot \frac{\sin(\omega_x V_x \frac{T_k}{2} + \omega_y V_y \frac{T_k}{2})}{\omega_x V_x \frac{T_k}{2} + \omega_y V_y \frac{T_k}{2}} \quad (5)$$

Здесь V_x, V_y – составляющие скорости движения объекта, $K_{0S}(\omega_x, \omega_y)$ – коэффициент передачи оптической системы. Соотношение (5) показывает существенное влияние на чёткость ТВ изображения объекта скорости его перемещения в пределах внутрикадрового пространства. Чем медленнее движется объект, тем в меньшей степени по направлению его движения подавляется во внутрикадровом пространстве высокочастотная структура его пространственного

спектра. Согласно (5) именно в ортогональном направлении, по отношению к направлению движения, минимизируется подавление высокочастотной части пространственного спектра движущегося объекта. Соответственно направление минимального градиента границ обычно совпадает с направлением движения объекта. В структуре спектра подвижного объекта, как показал проведённый анализ, при фиксированной скорости возможно также возникновение максимумов в области верхних пространственных частот. С увеличением относительной скорости движения максимум смещается в область более низких пространственных частот и падает коэффициент передачи в области высоких пространственных частот.

Учёт полученных теоретическим путём результатов позволил разработать и метод сжатия видеоинформации. Предложено, в частности, использовать два вида ТВ камер: общего (интегрального или обзорного) видеоконтроля и пространственно-селективного видеоконтроля с прослеживанием движения объекта. Сигнал изображений (опорная видеоинформация) от ТВ камер общего видеоконтроля предварительно передают по относительно узкополосному каналу связи и используют для формирования сигналов управления камерами селективного видеоконтроля. Применение прослеживания увеличивает (за счёт снижения относительной скорости движения проекции объекта в пределах раstra) пространственную чёткость контролируемых ТВ изображений в зоне нарушения. Управление углом поля зрения ТВ камеры позволяет фиксировать при выполнении видеоконтроля во внутрикадровом пространстве и масштаб изображения объекта, что упрощает реализацию сжатия. С другой стороны прослеживание снижает протяжённость временного спектра, соответствующего движущемуся в пределах контролируемого пространства объекту. Это позволяет снизить частоту выборки отсчётов по кадровому направлению и, следовательно, увеличить степень сжатия спектра видеоинформации.

В четвёртой главе «Разработка устройств формирования сигналов, сигнализации и сжатия для систем видеоконтроля объектов. Результаты экспериментальных исследований и моделирования на ЭВМ» представлены результаты разработки устройств подавления шумовых составляющих, сжатия

спектра ТВ сигнала, неортогонального ТВ контроля объектов и проведённых экспериментальных исследований.

При этом показано, что достаточно высокую эффективность (по характеристикам частотной селекции составляющих) обеспечивает устройство нелинейного подавления шумов и преобразования ТВ сигнала в цифровую форму. разработанное на основе использования многократной гребенчатой фильтрации с суммированием (и вычитанием) задержанного и исходного сигналов. С учётом результатов анализа спектральных характеристик распределения шума предложено осуществлять разделение спектра исходного ТВ сигнала на три составляющие: низкочастотную (от 50 Гц до 1,5 МГц), среднечастотную (от 1,5 МГц до 4,0 МГц) и высокочастотную (от 4,0 МГц до 6,5 МГц). Реализованная в разработанной схеме раздельная пороговая обработка среднечастотной и высокочастотной составляющих определяет по отношению к известным вариантам увеличение эффективности подавления шумов при снижении нелинейных искажений высокочастотной структуры, соответствующей малоcontrastным деталям общего сигнала изображений. В дополнение к этому в разработанном устройстве уменьшение нелинейных искажений среднечастотной и высокочастотной составляющих достигается использованием, после пороговой обработки, интегрирования и низкочастотной фильтрации. В результате возрастает качество передачи тонкой внутрикадровой структуры изображений. Применение разработанного метода и устройства шумоподавления в цифровых системах видеоконтроля объектов позволяет уменьшить негативное влияние шумов при аналого-цифровом преобразовании и при сжатии спектра сигналов изображений на уровень внесённых искажений изображений и, следовательно, увеличить достижимую степень последующего сжатия их спектра.

Во втором разделе четвёртой главы осуществлена разработка устройства сжатия спектра ТВ сигнала для систем видеоконтроля объектов. С использованием отсчётов (оперативных и эталонных), а также вариаций временем задержки по отношению к текущему кадру при формировании сигналов межкадровых разностей в разработанном устройстве обеспечивается выделение сигналов изображений подвижных объектов, реализующих нарушение в зоне видеоконтроля. С учётом их текущего перемещения предсказывают сигнал

изображения и координаты последующей фазы объекта. В разработанном устройстве соответственно обеспечивается передача блоков и отдельных отсчётов внутрикадрового пространства, отражающих превышение порога сигналом разности предсказанного и текущего изображений подвижного объекта, реализующего нарушение. В данном разделе приведён разработанный алгоритм сжатия, структурная схема устройства, соответствующая указанному алгоритму сжатия, и рассмотрена специфика функционирования указанного устройства. На рис. 5 приведены результаты программного моделирования выделения сигнала изображения подвижного объекта в соответствии с предложенным алгоритмом.



а)



б)



в)

Рисунок 5. Результаты программного моделирования устройства сжатия спектра ТВ сигнала для систем видеоконтроля объектов:

а) изображение разностного сигнала:

б) результат пороговой обработки разностного сигнала;

в) исходное изображение с выделенным на нем объектом.

Во втором разделе четвёртой главы осуществлена разработка устройства сжатия спектра ТВ сигнала для систем видеоконтроля объектов. С использованием отсчётов (оперативных и эталонных), а также вариаций временем задержки по отношению к текущему кадру при формировании сигналов межкадровых разностей в разработанном устройстве обеспечивается выделение сигналов изображений подвижных объектов, реализующих нарушение в зоне видеоконтроля. С учётом их текущего перемещения предсказывают сигнал изображения и координаты последующей фазы объекта. В разработанном устройстве соответственно обеспечивается передача блоков и отдельных отсчётов внутрикадрового пространства, отражающих превышение порога сигналом разности предсказанного и текущего изображений подвижного объекта, реализующего нарушение. В данном разделе приведён разработанный алгоритм сжатия, структурная схема устройства, соответствующая указанному алгоритму сжатия, и рассмотрена специфика функционирования указанного устройства.

При разработке устройства неортогонального ТВ контроля объектов (раздел 3 главы 4) обосновано параллельное использование ТВ камер (датчиков ТВ сигнала – ДТВС) статического и динамического контроля объектов. При этом ДТВС динамического контроля должны иметь относительно малый угол поля зрения, что позволяет в условиях прослеживания обеспечивать видеоконтроль подвижных объектов с относительным увеличением масштаба соответствующего изображения. Одновременно с этим реализуется растровое стробирование полезной ТВ информации. Соответственно снижается избыточность пространственной структуры анализируемого изображения и возрастает эффективность сжатия его спектра. Обзорные ДТВС в таком случае используются для обнаружения нарушений, формирования сигналов координат, тревожной сигнализации и данных. Дифференциальная обработка исходного сигнала изображений в пространстве кадров и во времени позволяет подавить влияние низкочастотных (пространственно-временных) составляющих на сигналы управления и параметры, которые формируются по результатам анализа изменений в структуре видеоинформационного сигнала. Селекция указанных изменений должна осуществляться в реальных системах с предварительным

определением и ограничением их возможного диапазона и по высокочастотной области.

Структурная схема для неортогонального видеоконтроля объектов представлена на рис.6. Здесь 1БДТК – блок динамического ТВ контроля, 2БДАК – блок динамического акустического контроля, 3БСТК – блок статического ТВ контроля, 4ГСС – генератор сигналов синхронизации, 5БАЦП – блок аналого-цифрового преобразования, 6ФССиУ – формирователь, 7БСИС – блок селекции информационных составляющих, 8БПИС – блок преобразования информационных составляющих, 9БОП – блок оценки параметров, 10БК и П – блок кодирования и передачи, 11БДиА – блок декодирования и архивирования, КС – канал связи, ССиУ—сигналы синхронизации и управления.

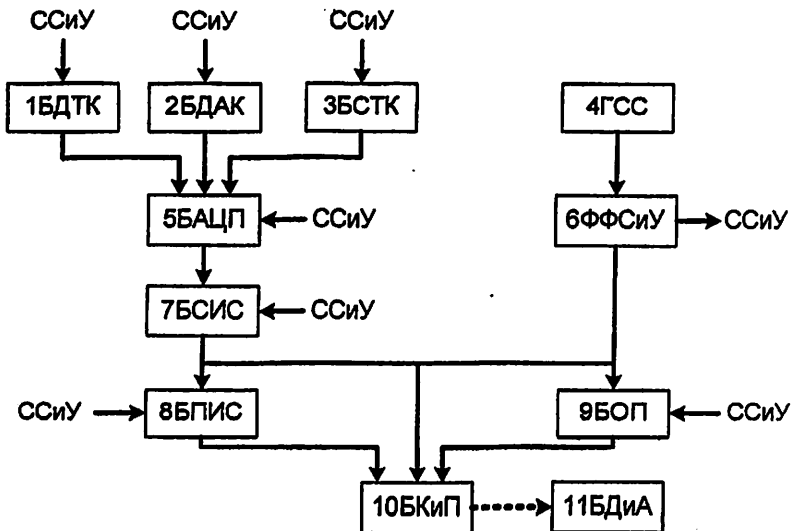


Рисунок 6. Устройство для неортогонального телевизионного контроля объектов.

В блоках БДТК, БДАК, БСТК формируются исходные акустические и ТВ информационные сигналы. При этом статические ТВ камеры БСТК (имеют фиксированную оптическую ось при реализации видеоконтроля) являются в основном широкоугольными. В БДТК ТВ камеры (функционируют в режиме слежения за подвижным объектом) являются в основном узкоугольными. Исходный угол поля зрения оптической системы ТВ камеры определяется в

данном случае максимально возможным размером контролируемых независимых объектов. Аналогичным образом узкоугольными являются микрофоны БДАК, которые функционируют в режиме слежения за подвижными объектами, осуществляющими нарушения.

Экспериментальное исследование изменений масштаба при ТВ неортогональном контроле объектов, а также контраста на экране в зависимости от их удаления от ТВ камеры, реализовано с использованием конкретной системы, разработанной лабораторией НИЛ-11 НИЧ МТУСИ с учётом результатов данной работы. Особенностью объекта является достаточно равномерная освещенность (лампами накаливания) такого уровня, что ТВ камера работает в линейном режиме при практически открытой диафрагме оптической системы. Использование ламп накаливания обеспечивает согласование со спектральной характеристикой телевизионных камер на ПЗС и общее увеличение уровня выходного телевизионного сигнала.

Схема размещения пространственных испытательных сигналов прямоугольной формы (белых маркеров) показана на рис.7.

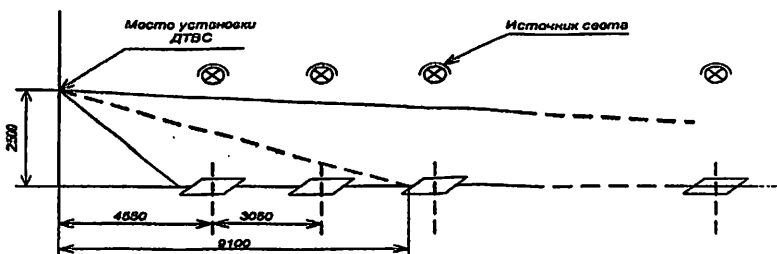


Рисунок 7. Схема размещения ДТВС и маркеров при проведении эксперимента.

При выполнении эксперимента использовались белые маркеры, обеспечивающие относительно равномерное отражение вне зависимости от длины волны составляющих падающего света. Размер маркера выбирался с учётом следующих требований:

1. Площадь маркера \ll эффективной площади контроля, соответствующей полю зрения конкретной ТВ камеры.

2. Горизонтальный размер маркера в ближней зоне пространства видеоконтроля $\geq 0,05$ эффективного горизонтального размера поля зрения конкретной ТВ камеры.
3. Сигнал ТВ изображения маркера соответствует функции параллелепипеда $f(x, y) = \text{rect } x \cdot \text{rect } y$.

Соответственно при проведении эксперимента не учитывалось воздействие масштабных искажений на сам маркер. Выбранный размер маркера практически исключал влияние на сигнал маркера апертурных искажений. Использование функции параллелепипеда позволило упростить проведение исследований, конкретизирующих специфику изменения спектра маркера в зависимости от изменений угла проецирования. Сигнал с ДТВС подавался на ВКУ и осциллограф типа С1-81 ОЭ. При этом осциллограф работал в режиме высокого входного сопротивления, а на ВКУ была включена нагрузка 75 Ом. Использованное испытательное изображение представлено на рис.6., фотография которого получена с экрана ВКУ.

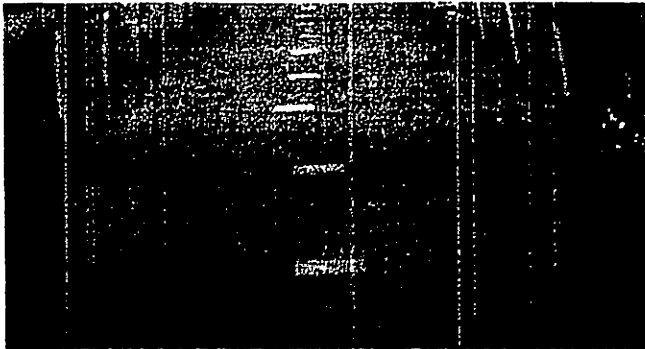


Рисунок 8. Испытательное телевизионное изображение.

С помощью осциллографа сканировался диапазон значений строк одного из полей и фиксировался номер строки, соответствующий середине каждого маркера. С использованием таких строк была измерены зависимости изменения масштаба (разности числа строк между соседними маркерами) от расстояния до ДТВС и

размах видеосигнала относительно уровня яркости фона. На рис.7. показаны контролируемые осциллограммы ТВ сигнала выделенных строк.



Рисунок 9. Контролируемые осциллограммы телевизионного сигнала выделенных 228 (а) и 106 (б) строк.

При проведении эксперимента был использован ДТВС с широкоугольной (угол поля зрения $\varphi \geq 60^\circ$) оптической системой. Для такого случая характерно существенное падение уровня сигнала ($\geq 20\%$) на краях внутрикадрового пространства по отношению к его центру. Выявилось возникновение значительной асимметрии в изменении уровня ТВ сигнала вдоль оптической оси. Спецификой в данном случае является не только локализация максимума уровня ТВ сигнала в точке пересечения оптической оси с подстилающей поверхностью, но и существенное снижение крутизны его падения с уменьшением угла проецирования маркеров на светочувствительную поверхность ДТВС и соответственно с удалением их местоположения от указанной точки пересечения. Проведённый эксперимент, кроме того, показал существенного, асимметричного типа, снижение четкости телевизионных изображений с удалением положения маркера от точки её пересечения с подстилающей поверхностью. При этом градиент снижения чёткости ТВ изображений маркеров наиболее существенно возрастает в ближайшей к ДТВС области. В табл. 1 представлены результаты, отражающие экспериментальную оценку функции ($m(\varphi)$) изменения масштаба маркера в зависимости от угла проецирования.

Таблица 4.1

l (м)	6,55	8,6	9,1	11,65	14,7	17,75	20,8	23,85	26,9	29,95	33
φ , град	20,89	16,2	15,36	12,11	9,85	8,02	6,85	5,98	5,3	4,77	4,33
$m(\varphi)$	1,82	1,057	1	0,629	0,4	0,31	0,23	0,171	0,142	0,128	0,114

Полученные результаты соответствуют теоретическим результатам. Некоторое несоответствие расчетных и реальных изменений масштаба связано с неточностью оценки общего угла поля зрения использованной при проведении эксперимента ТВ камеры.

Список публикаций

1. Басекеев А.А. Особенности телевизионного контроля удалённых объектов // НТК профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава: Тезисы докладов. – М: МТУСИ, 2004 г.
2. Басекеев А.А., Шустров Ю.А. Современные системы телевизионного контроля объектов // НТК профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава: Тезисы докладов. – М: МТУСИ, 2004 г.
3. Игнатов Ф.М., Басекеев А.А., Шустров Ю.А. Особенности современных видеокамер охранного телевидения // 13-ая Межрегиональная конференция «Обработка сигналов в системах телефонной связи и вещания». – М: МТУСИ, 2004 г.
4. Власюк И.В., Басекеев А.А. Преобразование параметров и характеристик структуры изображений в системах видеоконтроля // НТК профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава: Тезисы докладов. – М: МТУСИ, 2005 г.
5. Басекеев А.А. Системы автоматического регулирования в камерах охранного телевидения // НТК профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава: Тезисы докладов. – М: МТУСИ, 2006 г.
6. Безруков В.Н., Власюк И.В., Басекеев А.А. Специфика оценки пространственных характеристик сигналов изображений в системах телевизионного контроля объектов // Метрология и измерительная техника в связи. – 2006 г. – № 2. – С. 42–48.
7. Безруков В.Н., Басекеев А.А., Икрамов К.С. Неортогональный телевизионный контроль видеoinформационного пространства // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008 г. – №1. – С. 48-52.
8. Балобанов А.В., Власюк И.В., Басекеев А.А. Анализ пространственно-частотных характеристик распределения светочувствительных элементов в пределах раstra матрицы ПЗС // Метрология и измерительная техника в связи. – 2006 г. – № 3.

Подписано в печать 30.03.09. Формат 60x84/16. Объем 1,8 усл.п.л.
Тираж 100 экз. Заказ 69.

ООО «Инсвязьиздат». Москва, ул. Авиамоторная, 8.