

УДК 681.772.7

На правах рукописи

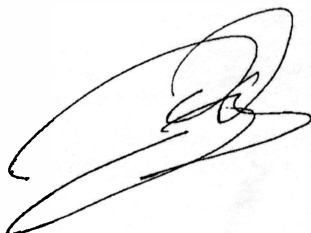
Колобов Кирилл Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПАНОРАМНЫХ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2012

Работа выполнена на кафедре лазерных и оптико-электронных систем
Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Колочкин Василий Яковлевич

Официальные оппоненты: Якушенков Юрий Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
МИИГАиК.

Мачихин Александр Сергеевич,
кандидат физико-математических наук,
НТЦ уникального приборостроения РАН.

Ведущая организация: ОАО «НПО Геофизика-НВ», г. Москва

Защита диссертации состоится 28 марта 2012 года в 10:00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.141.19 в Московском государственном техническом
университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д.
5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью организации,
просим направить по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, МГТУ
им. Н.Э. Баумана, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.19.

Автореферат разослан 24 февраля 2012 г.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1988071
Колобов К.В. Исследование и

Ученый секретарь диссертационного со-
вета,
доктор технических наук

Бурый Е.В.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Системы видеонаблюдения (СВН) находят широкое применение в системах обеспечения безопасности объектов транспортной инфраструктуры, промышленных предприятий, жилых помещений и других объектов. Для контроля крупных объектов, в основном, используют многокамерные СВН, позволяющие оператору наблюдать отдельные зоны охраняемого объекта. Отсутствие единого изображения зоны контроля, и, как следствие, пропуск или повторение фрагментов объектов в изображениях этих зон существенно затрудняет для человека-оператора анализ ситуаций на объекте. Альтернативой многокамерным СВН являются панорамные системы видеонаблюдения (ПСВН), формирующие единое видеоизображение пространства. Использование ПСВН, формирующих единое изображение окружающего пространства, упрощает анализ сцен и может существенно повысить эффективность работы операторов. Особый интерес представляют ПСВН со сверхширокоугольными оптическими системами (ОС), например, объективами типа «рыбий глаз».

Развитие систем охранного видеонаблюдения характеризуется постоянным совершенствованием элементной базы, но вопросам проектирования СВН, связанных с оптимизацией схем регистрации видеоизображений и параметров устройств, используемых в СВН, в литературе уделено мало внимания. В частности, в работах зарубежных авторов В. Дамьяновски, М. Гарсия, Г. Кругль содержатся полезные практические рекомендации по проектированию СВН, но отсутствует теоретическое обоснование принципов построения СВН. В публикациях отечественных авторов В.А. Ворона, В.А. Тихонова, Р.Г. Магауенова, В.Г. Синилова даны только общие рекомендации по проектированию СВН и содержится в основном справочная информация, при этом системному подходу к проектированию СВН уделено мало внимания. Также отметим, что не учтены особенности восприятия изображений, формируемых СВН, человеком-оператором.

Вопросы проектирования сверхширокоугольных ОС опубликованы в работах Русинова М.М., Якушенковой Т.И., Урусовой М.В. и др. В работах Якушенковой и Урусовой сделан акцент на зеркально-линзовые панорамные ОС, при этом отсутствуют рекомендации по исправлению (или компенсации) характерных для таких ОС геометрических искажений, что очень важно для проектирования ПСВН.

В связи с этим тема диссертации, посвящённой разработке методики проектирования ПСВН и, в частности, ПСВН со сверхширокоугольными ОС, является актуальной.

Цель исследований

Целью диссертационной работы является создание на основе теоретических и экспериментальных исследований научно обоснованной методики проектирования ПСВН.

Задачи исследований

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи:

- разработаны математические модели ПСВН и на основе этих моделей определены целевые функции проектирования ПСВН;
- разработаны элементы теории оценивания геометрических искажений в ПСВН со сверхширокоугольными объективами;
- разработана методика синтеза оптических схем и сформулированы рекомендации для расчета сверхширокоугольных объективов;
- обоснованы рациональные варианты коррекции геометрических искажений в панорамных изображениях для обеспечения наилучшего восприятия человеком-оператором;
- разработаны и апробированы методы оценки качества систем регистрации изображений в ПСВН с сверхширокоугольными ОС.

Методы исследований. При решении теоретических и прикладных задач использован математический аппарат теории вероятностей и математической статистики, теория обнаружения и распознавания образов, теория линейных систем, теория оптических систем.

Научная новизна исследований

В процессе проведения исследований получены следующие новые научные результаты:

- определена целевая функция проектирования математической модели ПСВН на системотехническом уровне;
- введен коэффициент искажений изображений для оценки степени геометрических искажений изображений, сформированных СШОС;
- выработаны рекомендации для расчета сверхширокоугольных ОС с заданными значениями геометрических искажений;
- предложены алгоритмы преобразования изображений, корректирующие характерные для таких изображений проективные искажения (пятиточечную);
- разработаны методика проектирования ПСВН и принципы построения аппаратуры для контроля качества изображения, формируемого в ПСВН с СШОС.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Методика проектирования ПСВН, основанная на многоканальной модели зрительного восприятия изображений человеком-оператором.
2. Методика оценки степени геометрических искажений сверхширокоугольных объективов ПСВН.
3. Методика определения фокусного расстояния фотографического объектива и углового увеличения афокальной ОС, как составляющих СШОС.
4. Методы преобразования изображений в ПСВН, позволяющие скорректировать геометрические и проективные искажения.

Достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается соответствием результатов теоретических исследований, основанных на предложенных математических моделях процессов форми-

рования изображений в ПСВН со сверхширокоугольными ОС, результатам испытаний макетных образцов ПСВН.

Практическая ценность работы

Разработанная методика проектирования ПСВН, алгоритмы цифровой обработки изображений и функциональные схемы аппаратуры контроля ПСВН могут быть использованы при создании перспективных комплексов обеспечения безопасности.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на 5 научно-технических конференциях:

- V международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика-2007»;
- VIII Международная конференция «Прикладная оптика», 2008г.
- научно-технические конференции «Студенческая научная весна-2005, 2006».

Результаты диссертации обсуждены на научном семинаре кафедры лазерных и оптико-электронных систем МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения и изложена на 153 листах.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, решаемой в диссертационной работе, сформулированы цели и задачи исследований.

В первой главе на основе анализа литературных источников в области систем видеонаблюдения и, в частности, ПСВН, предложена классификация ПСВН, основанная на принципах регистрации панорамных изображений. Предложено ПСВН разделить на 3 типа:

- мультикамерные ПСВН;
- ПСВН сканирующего типа;
- ПСВН со сверхширокоугольными ОС.

Мультикамерным ПСВН присущи недостатки, такие, как: переналожения и изломы при стыковке изображений соседних видеокамер. Основным недостатком сканирующих систем является низкая частота кадров панорамного изображения, что может привести к пропуску событий, а достоинством – отсутствие артефактов при стыковке соседних видеокадров в панораму.

ПСВН с сверхширокоугольными ОС позволяют производить регистрацию изображения одной камерой в пределах углового поля размером до $180^\circ \times 180^\circ$. Сверхширокоугольные объективы делят на 2 типа: «Fish eye» («Рыбий глаз») и зеркально-линзовые с круговым полем регистрации.

Особенностью изображений, регистрируемых ПСВН со сверхширокоугольными объективами, является наличие геометрических искажений, обусловленных дисторсией и проективными искажениями.

Устройства отображения панорамных изображений для наблюдения их оператором можно разделить на следующие типы:

- устройства с непосредственным отображением панорамного изображения без исправления проективных искажений;
- устройства с последовательным представлением фрагментов панорамного изображения;
- устройства, работающие по методу циркорама, в которых производится отображение панорамного изображения на сферический экран.

Выбор того или иного метода представления панорамного изображения зависит от особенностей регистрации изображений в ПСВН, а также задач, решаемых оператором.

На основе проведенного в главе анализа сделан вывод о том, что наиболее перспективными являются ПСВН со сверхширокоугольными оптическими системами (ОС) и сформулированы задачи, решение которых позволит разработать методику проектирования таких систем.

Во второй главе проведен анализ процесса формирования изображений в ПСВН со сверхширокоугольными объективами. Определены требования к подобным объективам и даны рекомендации для их расчета.

Определяющей особенностью сверхширокоугольных объективов является большое угловое поле размером $180 \times 180^\circ$ и более. В связи с этим пространство предметов для таких объективов следует представлять не предметной плоскостью, а сферой. При таком подходе исключаются вариации масштаба в зависимости от угла визирования на точки пространства предметов, т.к. расстояния от центра входного зрачка до предметных точек, спроецированных на сферу, фиксированы во всем угловом поле.

Для описания метода проецирования предметной сферы в плоскость регистрации, где располагается матричный приёмник излучения (МПИ), используется, так называемая, отображающая функция, имеющая вид $r' = F(\alpha; f')$. В этой формуле α – угол между направлением визирования на точку объекта и оптической осью, а f' – фокусное расстояние ОС. В частности, для узкопольных объективов отображающая функция, определяемая как $r' = f' \cdot \operatorname{tg} \alpha$, известна как гномоническая отображающая функция. Для сверхширокоугольных объективов наибольшее применение имеет эквидистантная проекция, которая описывается отображающей функцией вида

$$r' = f' \cdot \alpha, \quad (1)$$

известной, как FTheta.

На начальном этапе синтеза оптической схемы предложено сверхширокоугольный объектив рассматривать в виде композиции двух ОС (см. рис. 1): фотографического объектива 1, формирующего изображение на МПИ, и афокальной системы 2 с угловым увеличением γ , меньшим 1, позволяющий увеличить угловое поле до значений 180° и более.

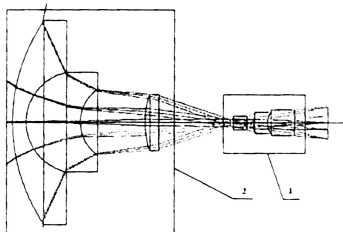


Рисунок 1. Функциональная схема сверхширокоугольного объектива

Для афокальных систем сверхширокоугольных объективов угловое увеличение следует определять по формуле

$$\gamma(\alpha) = \alpha' / \alpha. \quad (2)$$

В работе показано, что в общем случае при $\gamma < 1$ нарушается подобие размеров предметов и их изображений. В работе предложено оценивать возникающие искажения коэффициентом

искажений, который описывает нарушение подобия в изображении предметов на краю поля по отношению к аналогичному предмету в центре поля:

$$K_{иск}(\alpha) = \frac{dr'_l(\alpha)}{dr'_l(0)}. \quad (3)$$

При рассмотрении пространства предметов в виде плоскости коэффициентом искажений определяется по формуле:

$$K_{иск}(\alpha) = \frac{\gamma(\alpha) \cdot \cos^2(\alpha)}{\gamma(0) \cos^2(\alpha \cdot \gamma(\alpha))}. \quad (4)$$

При представлении пространства предметов в виде сферы искажения оцениваются коэффициентом сферических искажений, который определяется как:

$$K_{иск-сф}(\alpha) = \frac{\gamma(\alpha)}{\gamma(0)} \cdot \frac{1}{\cos^2(\alpha \cdot \gamma(\alpha))}. \quad (5)$$

Коэффициент искажений $K_{иск}$ оценивает искажения, обусловленные воздействием 3-х факторов, а именно:

- непостоянством углового увеличения $\gamma(\alpha)$ в пределах углового поля;
- проективными искажениями в пространстве предметов – проективными искажениями 1-го рода $K_{np1}(\alpha)$;
- проективными искажениями в пространстве изображений – проективными искажениями 2-го рода $K_{np2}(\alpha)$.

Поэтому коэффициент искажений можно представить в виде

$$K_{иск}(\alpha) = \gamma(\alpha) \cdot K_{np1}(\alpha) \cdot K_{np2}(\alpha). \quad (6)$$

Основной вклад в искажения вносят проективные искажения 1-го рода, что иллюстрируют графики, представленные на рисунке 2.

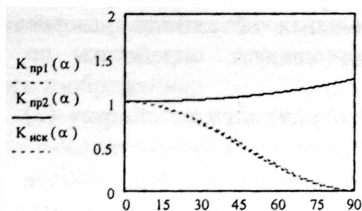


Рисунок 2. Графики зависимости коэффициентов проективных искажений 1-го и 2-го рода и результирующего коэффициента искажений от угла визирования при постоянном полю углом увеличении $\gamma(\alpha) = 0,3$

В работе показано, что коэффициент относительной дисторсии связан с коэффициентами искажений следующими соотношениями

$$D(\alpha) = \frac{\beta_p}{\beta_u} - 1 = \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)} \int_0^{\alpha} \frac{K_{иск}(\xi)}{\cos^2(\xi)} \cdot d\xi - 1 = \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)} \int_0^{\alpha} K_{иск_сф}(\xi) \cdot d\xi - 1. \quad (7)$$

Очевидно, что коэффициенты искажений дают более универсальную оценку геометрических искажений, чем дисторсия, т.к. при $\alpha=90^\circ$ значение $D(\alpha)$ определено только в предельном случае: при $\alpha \rightarrow 90^\circ$, $D(\alpha) \rightarrow -1$. В связи с этим коэффициент относительной дисторсии позволяет оценить геометрические искажения изображений, формируемых узкопольными ОС, для которых осуществляется метод проекции в соответствии с гномонической отображающей функцией.

Если в ОС реализуется не гномоническая отображающая функция, то геометрические искажения следует оценивать, как отклонение изображения от некоторого идеального, которое может быть получено при выбранном способе проекции, характеризуемом заданной отображающей функцией

$$K(\alpha) = \frac{K_{иск}^p(\alpha)}{K_{иск}^{ид}(\alpha)}. \quad (8)$$

Коэффициент сферических искажений и коэффициент дисторсии для ОС с FTheta отображающей функцией вида можно определить по формулам:

$$K_{иск_сф}^{ид}(\alpha) = \frac{dr'_l(\alpha)}{dr'_l(0)} = 1; \quad (9)$$

$$D^{ид}(\alpha) = \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)} \int_0^{\alpha} K_{иск_сф}^{ид}(\xi) \cdot d\xi - 1 = \frac{\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha)} - 1. \quad (10)$$

Геометрические искажения ОС влияют на разрешающую способность ПСВН. Например, сжатие изображения приводит к расширению пространственно-частотного спектра изображения (рисунок 3) и, как следствие, уменьшению пространственного разрешения.

При постановке задачи разработки сверхширокоугольной ОС исходными данными являются: размеры кристалла МПИ, угловое поле и вид отображающей функции. Т.к. в качестве исходной оптической схемы сверхширокоугольного объектива используется композиция узкопольного объектива, работающего на бесконечность, и афокальной системы типа Галилея,

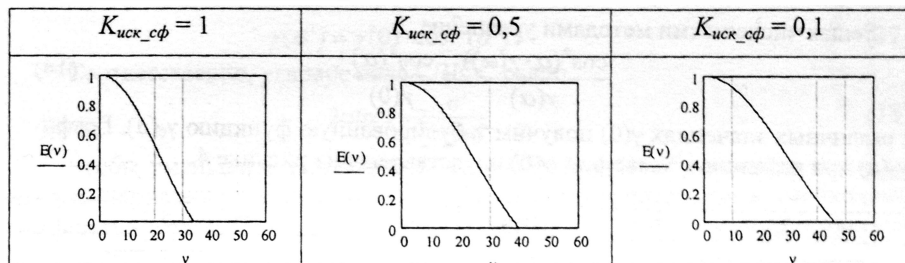


Рисунок 3. Пространственные спектры сигнала для различных значений коэффициента сферических искажений $K_{иск_сф}$

то задача предварительного габаритного расчёта сверхширокоугольного объектива заключается в определении фокусного расстояния f_0 узкопольного объектива и углового увеличения $\gamma(\alpha)$ афокальной системы при заданной отображающей функции.

При заданном угловом поле СШОС $2\alpha'_{\max} = \pi$ и эквидистантной отображающей функции, а также при максимальном размере кристалла МПИ $2y'_{\max}$ и начальном приближении углового увеличения $\gamma(0)$ фокусное расстояние f_0 узкопольного объектива определяется формулами

$$f'_0 = \frac{f'}{\gamma(0)} = \frac{2y'_{\max}/2\alpha'_{\max}}{\gamma(0)} = \frac{2y'_{\max}}{\gamma(0) \cdot \pi}. \quad (11)$$

При $\alpha=0$ угловое увеличение $\gamma(0)$ для эквидистантной отображающей функции имеет вид

$$\gamma(0) = \frac{tg(\alpha'_{\max})}{\alpha_{\max}} = \frac{tg(\alpha'_{\max})}{\pi/2}. \quad (12)$$

Угловое поле фотографического объектива $2\alpha'_{\max}$ и угловое увеличение афокальной насадки $\gamma(\alpha)$ являются параметрами, нахождение компромисса между которыми способствует минимизации отличия полученной отображающей функции от отображающей функции заданной при проектировании ОС. Несотвественность отображающих функций, приводит к возникновению геометрических искажений, которые можно оценивать путём сравнения коэффициентов искажений.

Нахождение закона изменения углового увеличения $\gamma(\alpha)$, при котором отображающая функция проектируемой ОС соответствует идеальной, т.е. $K_{иск_сф} = K_{иск_сф}^{ид}$, является ключевой задачей синтеза сверхширокоугольной ОС. В работе рассмотрены 2 варианта сверхширокоугольной ОС: с гномонической и эквидистантной отображающими функциями.

В случае гномонической отображающей функции предметная плоскость проецируется в плоскость изображений, и коэффициент искажений должен быть равен

$$K_{иск}(\alpha) = \frac{\gamma(\alpha)}{\gamma(0)} \cdot \frac{\cos^2(\alpha)}{\cos^2(\alpha \cdot \gamma(\alpha))} = 1 \quad (D=0). \quad (13)$$

Решая численными методами уравнение

$$\frac{\cos^2(\alpha \cdot \gamma(\alpha))}{\gamma(\alpha)} = \frac{\cos^2(\alpha)}{\gamma(0)} \quad (14)$$

при различных значениях $\gamma(0)$ получим табулированную функцию $\gamma_6(\alpha)$. Графики $\gamma_6(\alpha)$ при различных значениях $\gamma(0)$ представлены на рисунке 4.

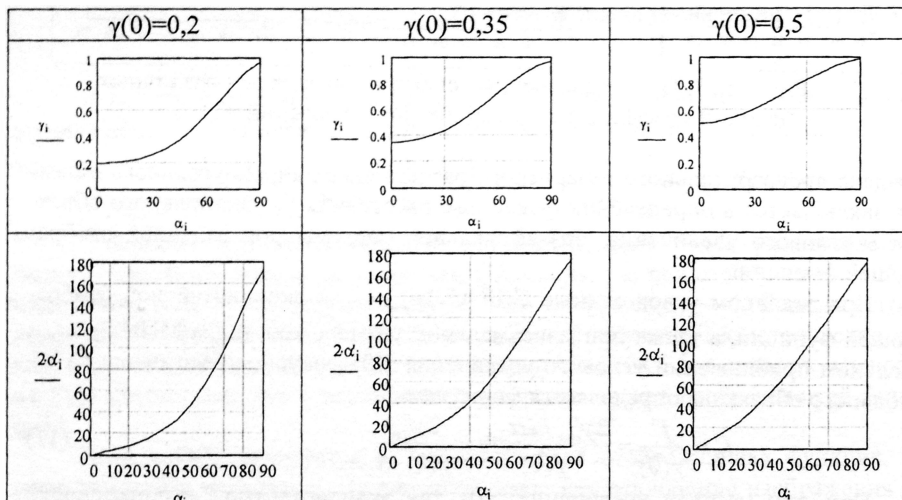


Рисунок 4. Графики углового увеличения и углового поля в пространстве изображений для ортоскопической ОС при различных значениях $\gamma(0)$

Графики на рисунке 4 показывают, что ортоскопическая сверхширокоугольная ОС с угловым полем 180° не реализуема, т.к. угловые поля в пространстве изображений, близкие к 180° не достижимы.

В пространстве изображений с учетом энергетических параметров оперируют малыми угловыми полями $2\alpha'_{\max} = 40-60^\circ$. Таким образом, для получения наибольшего углового поля в пространстве предметов необходимо использовать ортоскопический объектив с меньшим угловым увеличением около оптической оси $\gamma(0)$, например $\gamma(0) = 0,2$.

В случае эквидистантной отображающей функции предметная сферическая поверхность проецируется в плоскость изображений, и коэффициент сферических искажений должен быть равен

$$K_{\text{иск_сф}}(\alpha) = \frac{\gamma(\alpha)}{\gamma(0)} \cdot \frac{1}{\cos^2(\alpha \cdot \gamma(\alpha))} = 1 \quad (15)$$

Идеальная ОС с эквидистантной отображающей функцией синтезируется, исходя из условия:

$$\gamma(\alpha) = \gamma(0) \cdot \cos^2(\alpha \cdot \gamma(\alpha)). \quad (16)$$

Либо иначе можно записать

$$\gamma(\alpha') = \gamma(0) \cdot \cos^2(\alpha'). \quad (17)$$

Соответственно, угловое поле СШОС равно

$$2\alpha(\alpha') = 2 \frac{\alpha'}{\gamma(\alpha')} \quad (18)$$

Чтобы уменьшить угловое поле в пространстве изображений и минимизировать вариации углового увеличения в пределах углового поля, необходимо уменьшать угловое увеличение $\gamma(0)$ для области около оптической оси (рисунок 5).

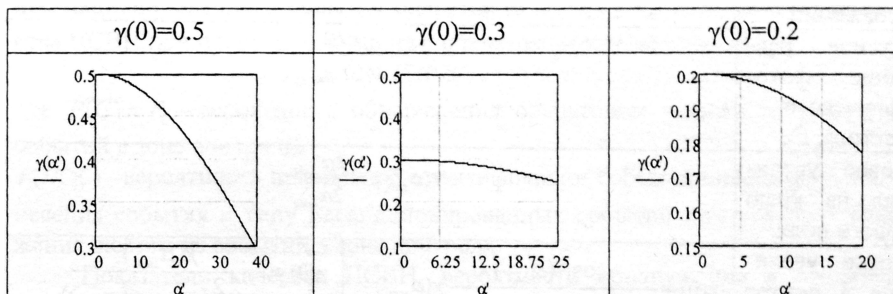


Рисунок 5. Графики углового увеличения для СШОС с отображающей функцией вида FTheta

На основе полученных результатов разработана методика проектирования ПСВН со сверхширокоугольными ОС. Исходными данными для проектирования СШОС являются:

- угловое поле $2\alpha_{\max}$;
- вид отображающей функции $r' = F(\theta; f')$;
- размеры кристалла МПИ $a \times b$;
- размеры чувствительных элементов МПИ, или количество чувствительных элементов $N \times M$;
- уровень освещённости в плоскости изображения, характеризуется относительным отверстием D/f' .

Алгоритм расчета фокусного расстояния фотографического объектива и углового увеличения афокальной ОС, образующих сверхширокоугольный объектив, представлен в таблице 1.

При фиксированном угловом поле $2\alpha_{\max} = \pi$ и фиксированном числе ЧЭ МПИ $N \times M$ угловая разрешающая способность ПСВН определяется как:

$$\Delta\alpha = \frac{2\alpha_{\max}}{M} \quad (19)$$

Максимальная пространственная частота оптического сигнала в плоскости МПИ, которую возможно восстановить, равна

$$\nu_{\max} = \frac{M}{2b}. \quad (20)$$

Таблица 1. Алгоритм расчета фокусного расстояния фотографического объектива и углового увеличения афокальной ОС

Угловое поле в пространстве предметов	$2\alpha_{\max} < 180^\circ$ (на практике не более 120°)	$2\alpha_{\max} \geq 180^\circ$
Отображающая функция	Гномоническая $r' = f' \cdot \operatorname{tg}(\alpha)$	FTheta $r' = f' \cdot \alpha$
Угловое поле в пространстве изображений	$2\alpha'_{\max}$ (как правило, не более 60°)	
Фокусное расстояние фотографического объектива, f_0	$f_0 = \frac{a/2}{\operatorname{tg}(\alpha'_{\max})}$	
Угловое увеличение на краю углового поля	$\gamma(\alpha_{\max}) = \frac{2\alpha'_{\max}}{2\alpha_{\max}}$	
Угловое увеличение в центре углового поля	$\gamma(0) = \frac{\cos^2(\alpha_{\max})}{\cos^2(\alpha_{\max} \cdot \gamma(\alpha_{\max}))} \gamma(\alpha_{\max})$	$\gamma(0) = \frac{\gamma(\alpha_{\max})}{\cos^2(\alpha_{\max} \cdot \gamma(\alpha_{\max}))}$
Закон изменения углового увеличения	$\frac{\cos^2(\alpha \cdot \gamma(\alpha))}{\gamma(\alpha)} = \frac{\cos^2(\alpha) \cdot \cos^2(\alpha_{\max} \cdot \gamma(\alpha_{\max}))}{\gamma(\alpha_{\max}) \cdot \cos^2(\alpha_{\max})}$	$\gamma(\alpha') = \frac{\gamma(\alpha_{\max})}{\cos^2(\alpha_{\max} \cdot \gamma(\alpha_{\max}))} \cdot \cos^2(\alpha')$

Представленные выше рекомендации были апробированы при разработке сверхширокоугольного объектива – «Fish Eye BMSTU». Изображение, формируемое этим объективом, представлено на рисунке 6.

Требования к качеству изображения, формируемого сверхширокоугольным объективом, должны определяться на основе анализа эффективности ПСВН в целом.

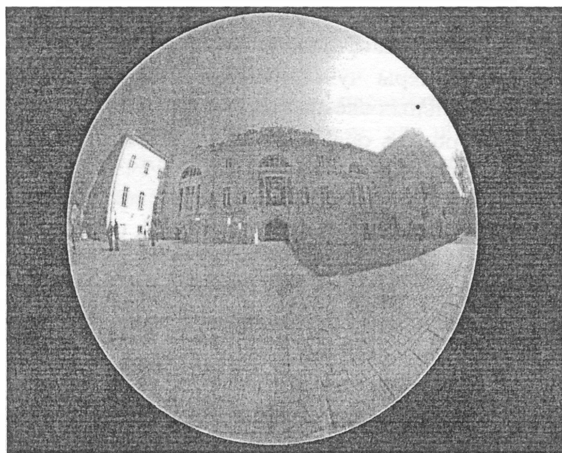


Рисунок 6. Изображение полупространства, сформированное ОС «FishEye BMSTU»

В третьей главе изложена методика проектирования ПСВН, основанная на блочно-иерархическом подходе (БИП). В соответствии с общими положениями проектирования оптико-электронных приборов (ОЭП) на основе БИП рассматриваются функционально-логический, системотехнический и схемотехнический уровни проектирования ПСВН. Для получения оптимального проектного решения на каждом из иерархических уровней определены показатели качества и целевые функции проектирования ПСВН, которая является составной частью комплекса обеспечения безопасности (КОБ).

В диссертации обосновано использование вероятности идентификации несанкционированного события оператором $P(НС) = P_{нс}$ как показателя качества ПСВН при проектировании на системотехническом уровне:

$$P_{нс} = P(C)P(НС|C), \quad (21)$$

где $P(C) = P_c$ – вероятность обнаружения оператором любого из возможных событий в зоне контроля;

$P(НС|C)$ – вероятность правильной идентификации событий оператором, т.е. отнесения события к типу несанкционированных событий при условии обнаружения любого из событий в зоне контроля.

Показатели качества ПСВН, вероятности обнаружения и правильной идентификации событий, определяются с учетом заданного показателя качества КОБ, а также с использованием методик, разработанных в работах Колучкина В.Я. и Мосягина Г.М. На основе принятых в работе математической модели СВН в линейном приближении и многоканальной модели зрительной системы человека-оператора сформулирована целевая функция проектирования на системотехническом уровне, которая определяет зависимость вероятности правильной идентификации от переменных проектирования – параметров систем регистрации и систем отображения информации для наблюдения оператором СВН.

Из проведённого анализа целевой функции следует, что при фиксированной частоте кадров вероятность $P_{нс}$ возрастает при увеличении времени накопления сигнала в матричном приемнике излучения (МПИ). Но при времени накопления более 5-10 мс может возникать «смаз» регистрируемого изображения, который приводит к снижению вероятности распознавания движущихся объектов. Чтобы исключить пропуск таких объектов на видеоизображении, частоту кадров рекомендуется использовать не менее 13-15 Гц.

Определена зависимость вероятности обнаружения событий человеком-оператором от величины отношения сигнала к шуму, размера пятна рассеяния ОС, а также от размера изображений регистрируемых объектов. Проведён анализ влияния на вероятность распознавания наблюдателем частоты кадров, размеров объектов, а также линейных искажений, которые вносит объектив и чувствительные элементы МПИ. Показано, что даже при отношении сигнала к шуму (ОСШ), равном 1, частоте кадров 15 Гц, объект, имеющий изображение размером 10 пикселей может быть обнаружен с вероятностью более 0,9. Для распознавания изображения лица человека при тех же условиях с вероятностью, превышающей 0,95 достаточно 15 пикселей. При допущении о пространствен-

ной инвариантности ОС для распознавания человека с вероятностью большей 0,95 требуется обеспечить радиус пятна рассеяния ОС не более 1,25 мкм. (при размере пикселя $a_x=3$ мкм)

Таким образом, сформулированная на основе модельного описания целевая функция проектирования ПСВН на системотехническом уровне позволяет определить оптимальное сочетание параметров системы регистрации, в том числе: размеров и количества чувствительных элементов МПИ, частоты кадров, а также фокусного расстояния, относительного отверстия и размера пятна рассеяния ОС.

Отметим, что приведённые выше результаты справедливы при допущении о пространственной инвариантности ОС. Для сверхширокоугольных ОС это допущение выполняется в пределах относительно малых угловых полей.

В четвертой главе на основе анализа особенностей зрительного восприятия изображений, имеющих геометрические искажения, предложены алгоритмы цифровой обработки изображений, позволяющие компенсировать эти искажения.

Методы проекции изображений в сверхширокоугольных и узкопольных ОС, привычных для человека-оператора, различны вследствие различия отображающих функций: гномонической для узкопольных ОС, эквидистантной для СШОС. В соответствии с этим предлагаются алгоритмы исправления искажений изображений, которые условно названы двухмерными и трёхмерными.

Эти алгоритмы реализованы в разработанном при непосредственном участии автора программном комплексе «SphereDewarp».

Двухмерные алгоритмы делятся на два типа: первый основан на модели гномонической проекции, а второй – на модели, описывающей частные свойства изображения.

В алгоритмах первого типа используется преобразование зарегистрированного изображения в соответствии с выражением

$$r'_d = f' \cdot \arctg \frac{r'_u}{f'}, \quad (22)$$

где r'_d - радиус-вектор точки зарегистрированного изображения в плоскости МПИ, а r'_u - радиус-вектор точки пространства предметов при гномонической проекции.

В программном комплексе «SphereDewarp» этот алгоритм называется PerspectiveModel. Результат работы алгоритма представлен на рисунке 7.

Алгоритмы второго типа основаны на частных свойствах получаемого изображения или некоторых допущениях относительно этих свойств. Все эти алгоритмы реализованы только для отображающей функции вида FTheta. К ним относятся алгоритмы, получившие названия: FETModel, FOVModel, TiltedCamera. Каждый из алгоритмов обеспечивает различную степень исправления искажений в изображении для различных угловых полей.

Трёхмерные методы основаны на проекции зарегистрированного изображения на сферу, дальнейшей проекции сферы на плоскость и коррекции

остаточных геометрических искажений в полученной развертке двухмерными алгоритмами. Пример такого преобразования представлен на рисунке 8.

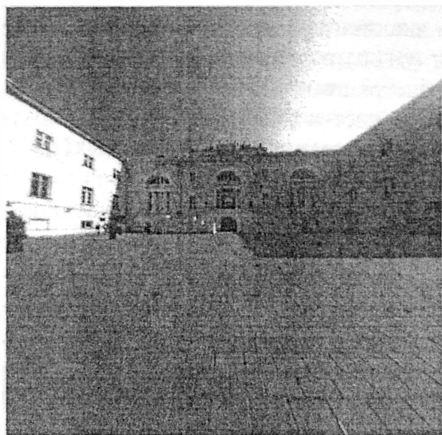


Рисунок 7. Изображение, преобразованное по алгоритму PerspectiveModel



Рисунок 8. Изображение, преобразованное трехмерным методом с последующей коррекцией

На основании практического исследования приведенных методов с помощью тестовой программы сформулированы следующие рекомендации по выбору методов в зависимости от расстояния до объектов в наблюдаемом пространстве.

Рекомендации выбора алгоритмов для отображения открытого пространства большой глубины (более 3м):

- для панорамы широкого открытого пространства рекомендуется использовать алгоритм исправления через разворот сферы (SphereDewarpModel);
- для выравнивания центральной части панорамы следует использовать алгоритм TiltedCameraAssumption. (или FETModel);
- для отображения узких пространств рекомендуется использовать один из алгоритмов перспективной коррекции: выбор конкретного алгоритма из этого семейства зависит от отображающей функции объекта.

Для отображения замкнутого пространства малой глубины (менее 3м) рекомендуется использовать алгоритм FOVModel, обеспечивающий наибольший обзор за счёт внесения искажений в изображение «глубины» сцены (кажется глубже, чем есть на самом деле).

В этой же главе приведено описание предложенного алгоритма обработки изображения в панорамной системе видеонаблюдения AllView. Алгоритм позволяет реализовать виртуальную сканирующую панорамную систему, причём

в пределах узкого углового поля устранены геометрические искажения и обеспечена «сшивка» изображений на границе полусфер.

В пятой главе изложены методы контроля качества панорамных изображений в ПСВН. На основе проведенного анализа, предложена методика измерения оптической передаточной функции (ОПФ) и коэффициентов искажений сверхширокоугольных ОС и системы регистрации (СР) ПСВН, разработаны принципы построения аппаратуры контроля качества ПСВН.

Основными характеристиками систем регистрации ПСВН являются:

- ОПФ объектива;
- коэффициент искажений объектива $K_{иск_оф}$;
- передаточная функция (ПФ) СР ПСВН.

В главе приведено обоснование принципа действия аппаратуры для измерения ОПФ ОС и ПФ СР. В аппаратуре используется метод, основанный на измерении пограничной кривой. Схема аппаратуры представлена на рисунке 9. На основе этого метода создан макетный образец прибора, который использован при проведении экспериментальных исследований по измерению ОПФ сверхширокоугольных объективов.

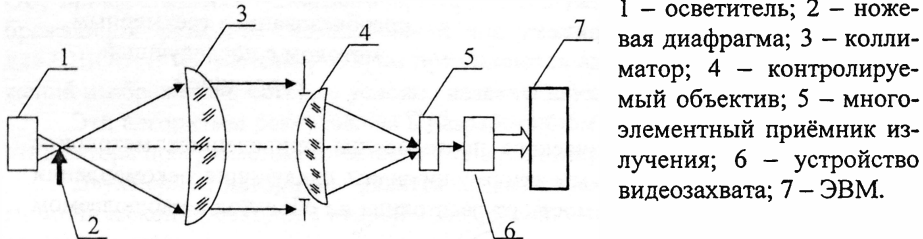


Рисунок 9. Принципиальная схема для измерения ОПФ ОС и ПФ СР

Предложен алгоритм измерения коэффициента геометрических искажений ОС для угловых полей от 0 до 180°. Методика измерения основана на измерении абсолютного значения расстояния между изображениями штрихов тестовой миры, расположенной на краю поля ОС, и сравнения его с эталонным расстоянием между изображением штрихов, расположенных в центре поля (рисунок 10).

В качестве эталонного расстояния между изображениями штрихов принимается расстояние между изображениями штрихов для центра углового поля. В качестве измеряемого принимается расстояние между изображениями штрихов на краю поля. Измеренные данные используются для вычисления значения коэффициента сферических искажений по формуле

$$K_{иск_оф}(\alpha) = \frac{a'}{a'_0}, \quad (23)$$

где a'_0 – расстояние между изображениями штрихов для центра, a' – расстояние между изображениями штрихов для края.

На основе разработанных алгоритмов при непосредственном участии автора разработаны макетные образцы двух приборов, один из которых предназначен для контроля качества сверхширокоугольных ОС, а второй – системы регистрации ПСВН. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтвердивших эффективность технических решений, использованных в макетных образцах приборов.

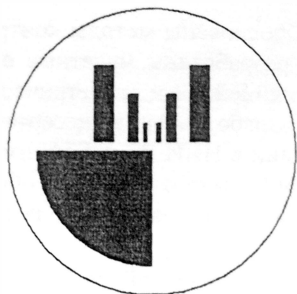


Рисунок 10. Образец тестовой миры для измерения геометрических искажений

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы, которые заключаются в следующем:

1) На основе БИП к проектированию определены технические требования к ПСВН, в том числе, вероятности обнаружения и правильной идентификации событий оператором, при этом задан показатель качества комплекса обеспечения безопасности - вероятность предотвращения несанкционированного события.

2) Разработана методика проектирования ПСВН, которая основана на анализе целевой функции, определяющей зависимость вероятности распознавания человеком-оператором образов объектов от параметров системы регистрации панорамного изображения, и позволяет определить оптимальное сочетание параметров системы регистрации, в том числе, частоты кадров, радиуса пятна рассеяния ОС при заданном размере чувствительного элемента МПИ, отношения сигнала к шуму.

3) На основе анализа особенностей формирования изображения в сверхширокоугольных ОС предложено для количественной оценки их геометрических искажений использовать коэффициент искажений, коэффициент относительной дисторсии имеет вспомогательное значение.

4) Предложена исходная оптическая схема для синтеза сверхширокоугольных ОС, включающая две группы компонент в виде фотографического объектива и афокальной системы; разработана методика определения фокусного расстояния и углового увеличения при гномонической и эквидистантной отображающих функциях.

5) Определены функциональные зависимости между коэффициентом искажений и пространственным разрешением, позволяющие для заданных условий использования ПСВН определить вид отображающей функции сверхширокоугольной ОС.

6) Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для преобразования изображений в ПСВН, позволяющие скорректировать геометрические искажения зарегистрированного панорамного изображения.

8) Обоснованы методы контроля качества изображения, формируемого в ПСВН, и разработаны макетные образцы аппаратуры контроля, позволяющей оценивать линейные и геометрические искажения ПСВН.

9) Разработанные в диссертации теоретические положения использованы при создании в НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э. Баумана макетного образца объектива типа «Рыбий глаз» и макетных образцов аппаратуры контроля ПСВН, испытания которых подтвердили основные теоретические положения диссертации.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:

1. Колобов К.В., Колючкин В.Я. Анализ формирования изображения в системах видеонаблюдения со сверхширокоугольными оптическими системами// Электромагнитные волны и электронные системы. – 2011. – №7. – С.47–51.
2. Патент № 2347251 РФ. Объектив «Рыбий глаз» для видеокамеры / В.Я. Колючкин, Л.Н. Тимашова, К.В. Колобов, А.А. Князев; заявл. 21.09.2006 //Б.И. – 2009. –№5.
3. Колобов К.В., Костылев Н.М. Устранение искажений в изображениях, получаемых в панорамных системах видеонаблюдения// Оптика-2007: Сборник тезисов докладов V международной конференции молодых ученых и специалистов. – М, 2005. – С.226-227.
4. Колобов К.В. Видеокамера сферического видеонаблюдения// Прикладная оптика. Компьютерные технологии в оптике: Сборник трудов VIII Международной конференции. – СПб., 2008. – С.82-86.
5. Колобов К.В. Преобразование изображения в системе с круговым обзором пространства // Студенческая научная весна-2005: Сборник трудов студенческой научно-технической конференции. – М., 2005. – С. 33-34.
6. Колобов К.В. Панорамные системы видеонаблюдения// Студенческая научная весна-2006: Сборник трудов студенческой научно-технической конференции. – М., – С.46-47.
7. Колобов К.В., Курышев В.А. Тотальные системы панорамного видеонаблюдения для транспортных объектов// Метро и тоннели. – 2009. – №1. – С.18–20.
8. Патент № 2335003 РФ. Панорамная зеркально-линзовая система с видеокамерой / В.Я. Колючкин, Л.Н. Тимашова, К.В. Колобов, А.А. Князев; заявл. 21.09.2006 //Б.И. – 2008. –№27.