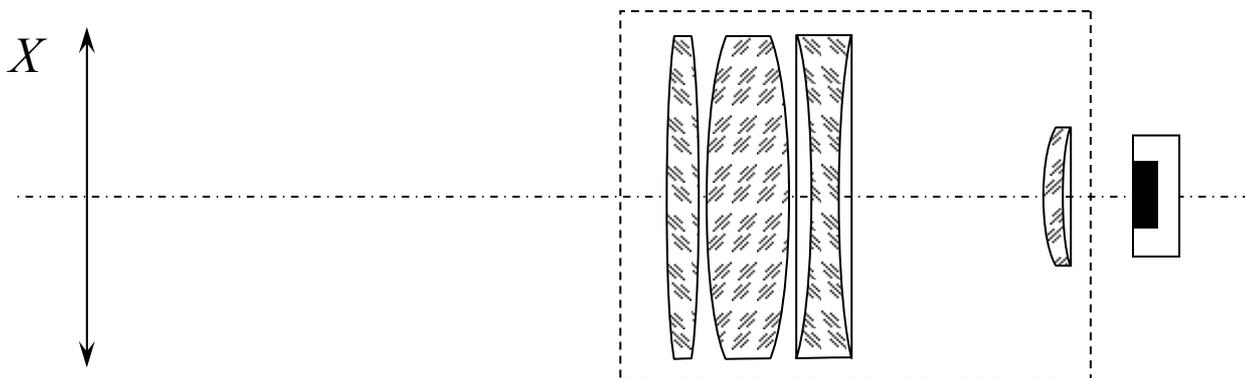


В.В. Коротаев, А.В. Краснящих

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие



**Санкт-Петербург
2012**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

В.В. Коротаев, А.В. Краснящих

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие



**Санкт-Петербург
2012**

В.В. Коротаев, А.В. Краснящих. Видеоинформационные измерительные системы / Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 124стр.

Пособие содержит изложение принципов построения видеоинформационных измерительных систем. Рассмотрены элементы теории цифровой обработки изображений.

Учебное пособие предназначено для студентов кафедры оптико-электронных приборов и систем. Может быть полезно студентам оптических и радиотехнических специальностей, а также разработчикам измерительной техники.

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области приборостроения и оптоэлектроники для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200400 – «Оптехника» и специальности 200401 – «Оптико-электронные приборы и системы специального назначения» протокол № 6 от 26.06.2012 г.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012
©В.В. Коротаев, А.В. Краснящих, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ	6
1.1 Основы образования видеосигнала	8
1.2 Требования, предъявляемые к телевизионным измерительным системам	13
1.3 Информативность оптического изображения	18
1.4 Измерение параметров оптического изображения	24
1.5 Информационные свойства видеосигнала	30
1.6 Модель регистрирующей камеры	39
1.7 Стереоскопическая система	42
1.8 Алгоритм работы ТИС контроля линейных смещений	45
1.9 Источники погрешности в ТИС	51
1.10 Модели описания цветовых пространств	53
ГЛАВА 2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	64
2.1 Принципы аппаратной реализации ТИС	65
2.2 Принципы программной реализации ТИС	68
2.3 Принципы программно-аппаратной реализации ТИС	69
2.4 Распределенные оптико-электронные системы	71
2.5 Описание РОЭС на базе персональных электронно-вычислительных машин	73
2.6 Особенности РОЭС на базе ПЭВМ и ОЭВМ	76
2.7 Классификация телевизионных измерительных систем	76
2.8 ТИС контроля смещения на основе ПЗС	79
2.9 Диссекторная система для измерения координат модулированного источника оптического излучения	81
2.10 Диссекторная система для поверки манометров	83
2.11 Диссекторная система с радиус-векторной следящей разверткой для сортировки кристаллов	85
2.12 Телевизионная измерительная система со следящим ТВД	87
2.13 Телевизионная измерительная система с обзорным и следящим ТВД	90
2.14 Структура цифровых устройств определения координат объекта	93
2.15 ОЭС контроля деформации	98
2.16 Оптико-электронная система контроля положения реперных меток	102
ГЛАВА 3. ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	105
3.1 Обработка информации в виде изображений	105
3.2 Изменение контраста изображения	106
3.3 Изменение гистограмм изображений	107
3.4 Выделение контуров	109
3.5 Привязка изображений	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	113

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы для решения традиционных задач оптико-электронного приборостроения стали широко применяться методы и средства, используемые в прикладном телевидении. Это касается как задач наблюдения за различными объектами, так и измерений всевозможных величин.

Быстрое развитие прикладных (промышленных) телевизионных установок (ПТУ) началось после окончания второй мировой войны, когда были созданы новые передающие трубки – суперортиконы, видиконы и др. В наше время бурно развивающихся науки и техники устройства прикладного телевидения играют все большую и большую роль. Приведем для иллюстрации несколько примеров, использования ПТУ.

Космические исследования. Нельзя себе представить этих исследований без использования прикладного (космического) телевидения. Наблюдение и контроль за поведением и самочувствием, космонавтов в летательных аппаратах, визуальное исследование ландшафтов далеких планет, управление самодвижущимися аппаратами, посланными с Земли на эти планеты, возможно только при помощи телевидения. Огромные успехи науки о космосе не могли бы быть достигнуты без использования специальных телевизионных устройств.

Атомные исследования. Научная и технологическая работа с радиоактивными веществами часто ставит под угрозу здоровье и жизнь экспериментаторов и технологов. Использование специальных телевизионных установок в этих случаях делает указанную работу безопасной. Телевидение позволяет на расстоянии наблюдать, например, за процессами в атомном реакторе. В комплекте со специальными работами объемные и цветные установки как бы удлиняют руки человека, дают возможность при визуальном контроле производить разнообразные манипуляции с радиоактивными материалами, оставаясь на безопасном от них расстоянии.

Контроль промышленной продукции. На многих заводах и фабриках используются промышленные телевизионные автоматы, осуществляющие контроль различных параметров изготавливаемых изделий: размеров, конфигурации, наличия дефектов в структуре (например, раковин внутри стального листа) и др. Важным обстоятельством является в этих устройствах бесконтактный метод контроля. Это значит, что при измерении, например, толщины изделия (проволоки, металлического листа) нет необходимости прислонять к нему какой-либо измерительный инструмент, задерживать или приостанавливать производственный процесс. Передающая камера телевизионного автомата смотрит на изделие, а образующийся при этом видеосигнал служит для управления, сигнализации и автоматической регулировки.

Диспетчеризация производства (Диспетчер (с англ.) – контролер, распорядитель. Диспетчеризация – система централизованного контроля и управления (на транспорте, производстве), осуществляемая диспетчером). Диспетчерские телевизионные установки позволяют диспетчеру осуществлять оперативный визуальный контроль производства. Так, например, не выходя из своего служебного помещения, диспетчер на экране видеопросмотровых устройств может наблюдать работу сборочных конвейеров, сортировку вагонов на железнодорожной станции и пр.

Учебное телевидение. Телевидение стало широко применяться для учебных целей. Например, в медицинских клиниках осуществляется показ на большом телевизионном цветном экране сложных хирургических операций для большой аудитории молодых врачей и студентов-медиков.

Физические основы телевидения, преобразование и формирование телевизионного сигнала подробно рассмотрены в работах [13, 19]. Характеристики, принципы построения и теория работы систем прикладного телевидения материал приведены в учебном пособии [6]. Принципы измерительного телевидения, а также методы обработки информации, поступающей от телевизионного датчика, описаны в работах [4, 8]. Однако со времени издания указанных работ прошло значительное время, они были изданы небольшим тиражом и являются библиографической редкостью. Развитие приборов, построенных на основе телевизионных измерительных датчиков, определило необходимость подготовки данного учебного пособия.

ГЛАВА 1 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Видеоинформационные (телевизионные) измерительные системы решают задачи измерения геометрических размеров, углов перемещений, координат и других параметров протяженных и малоразмерных (точечных) объектов с точностью не меньшей, а порой и превышающей точность традиционных оптико-электронных приборов. Увеличение потребности в телевизионных средствах наблюдения связано с их свойствами, к которым относятся: удобство сочленения телевизионного датчика практически с любым компьютером; высокое быстродействие телевизионных систем, позволяющее обрабатывать сигналы от неподвижных, малоподвижных и быстро движущихся объектов, как в реальном, так и измененном времени; быстрое развитие элементной базы прикладного телевидения, которой занимаются десятки ведущих фирм мира.

Современное телевидение – это научно-техническое направление в информатике, объединяющее вопросы электрооптического анализа и синтеза как движущихся, так и неподвижных изображений, и передачи их на расстояние по электрическим и волоконно-оптическим линиям связи [6].

Телевизионное изображение существенно отличается от входного оптического изображения - в него внесены значительные искажения. В то же время мы в основном не замечаем этих искажений. ТВ-изображение может казаться достаточно высококачественным, что свидетельствует о выполнении условия физиологически точного воспроизведения. Технически это достигается выбором соответствующего телевизионного стандарта, при котором искажения, внесенные в изображение, становятся малозаметными вследствие ограниченной контрастной чувствительности, разрешающей способности и инерционности зрительного аппарата человека.

Принцип действия современной системы вещательного телевидения основан на использовании процесса развертки, осуществляемого дважды - на передающей и приемной сторонах (рисунок 1.1). В процессе развертки на передающей стороне формируется видеосигнал, при этом происходит пространственно-временная дискретизация изображения, т. е. разложение изображения на кадры, строки и элементы [8]. Таким образом, развертка изображения позволяет передавать информацию о яркости большого числа элементов изображения последовательно по одному каналу связи.

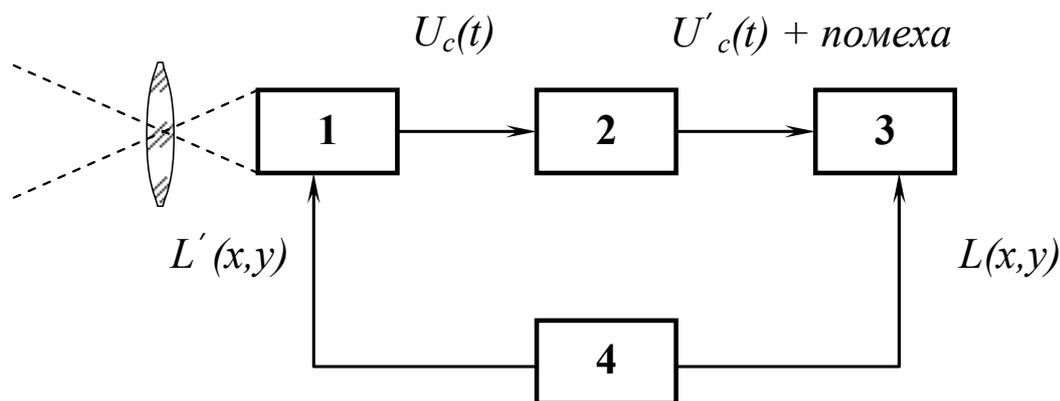


Рисунок 1.1 – Структурная схема телевизионной системы визуального наблюдения: 1-фотопреобразователь, 2-канал связи, 3-кинескоп, 4-развертывающее устройство; $L(x,y)$ и $L'(x,y)$ – входное и выходное изображения; $U_c(t)$ и $U'_c(t)$ – видеосигнал на входе и выходе канала связи

В настоящее время телевизионная техника развивается по двум основным направлениям. Одно из них составляет вещательное телевидение, второе получило название прикладного телевидения, под которым понимается использование телевизионных методов и средств в народном хозяйстве, научных исследованиях, космической связи, военном деле и т. д. Следует отметить, что на протяжении всей истории оба направления развивались в тесном взаимодействии между собой. Однако в силу специфики решаемых задач требования к системам вещательного и прикладного телевидения могут существенно различаться. Основное требование к вещательным системам заключается в воспроизведении на телевизионном экране изображений, обеспечивающих необходимые условия для художественного восприятия зрителем передаваемой сцены (сюжета). И здесь на первый план выступает проблема качества воспроизводимого изображения. Требования, предъявляемые к системам прикладного телевидения, вытекают из их конкретного назначения, которое может быть как достаточно универсальным, так и узко специализированным [6].

Системы прикладного телевидения по назначению и принципу построения делятся на две основные группы. К первой группе относятся наблюдательные системы, называемые также обзорно-поисковыми или информационными системами. Они предназначены для наблюдения за общей обстановкой внутри заданного пространства, ограниченного полем зрения объектива, а также визуального или автоматического поиска, обнаружения и опознавания интересующих оператора объектов. Ко второй группе относятся телевизионные измерительные системы (ТИС), служащие для контроля и измерения отдельных параметров объекта. Как правило, ТИС, при функционировании в автоматическом режиме,

предварительно выполняют задачу обнаружения и распознавания объекта с целью дальнейшего измерения его параметров.

Основные разновидности телевизионных систем представлены на данной схеме (рисунок. 1.2):

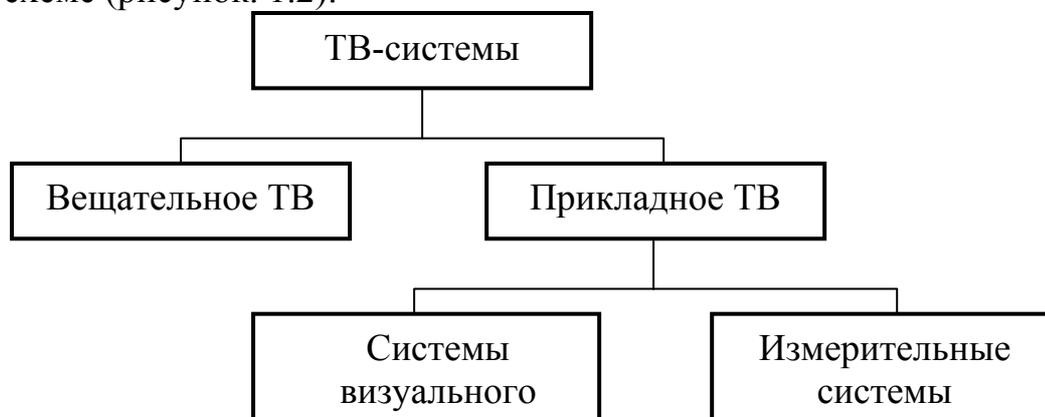


Рисунок 1.2 – Классификация телевизионных систем по назначению

1.1 Основы образования видеосигнала

Телевизионные системы визуального наблюдения (ТСВН) предназначены для преобразования оптического изображения в электрический сигнал - видеосигнал, передачи его по каналу связи и формирования в месте приема телевизионного (ТВ) изображения, в большей или меньше степени подобного входному оптическому изображению. Требования к качественным показателям ТВ-изображения формируются в основе критерия физиологически точного воспроизведения с учетом основных психофизиологических свойств зрительного аппарата человека, который в конечном итоге и является потребителем визуальной информации на выходе ТВ-системы.

Как было отмечено ранее, принцип действия любой телевизионной системы основан на использовании принципа развертки. В процессе развертки происходит пространственно-временная дискретизация изображения.

Исполнительным органом процесса дискретизации является разлагающая (развертывающая, анализирующая) апертура, в роли которой могут выступать сфокусированный электронный луч, световое пятно, отверстие в непрозрачном экране, элемент матричной структуры. Оптимальный размер апертуры равен размеру элемента изображения. В процессе развертки разлагающая апертура перемещается по закону развертки относительно передаваемого изображения. Мгновенное значение видеосигнала (ВС), генерируемого в процессе разложения, пропорционально освещенности опрашиваемого элемента, того элемента, который совмещен в данный момент с разлагающей апертурой. Траектория движения разлагающей апертуры за время кадра называется растром. К структуре растра, определяемой законом развертки, предъявляются

следующие требования: растр должен охватывать все элементы изображения; строки растра должны равномерно заполнять все поле изображения; процедура опроса любого элемента изображения должна быть одинаковой.

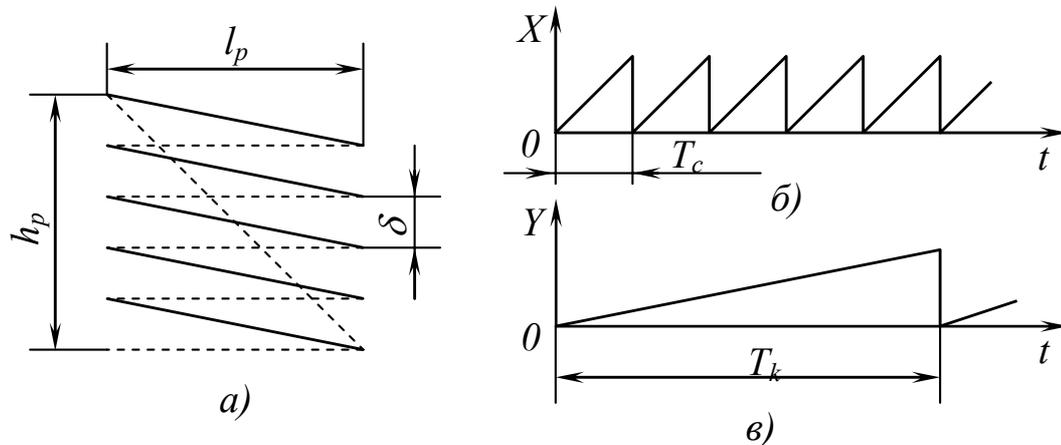


Рисунок 1.3 – Построчная развертка

В наибольшей степени указанным требованиям отвечают так называемые линейные растры, формируемые с помощью линейных разверток. В телевидении широкое распространение получили две разновидности линейных разверток - построчная и чересстрочная. На рисунке. 1.3, а изображен построчный растр с числом строк $z=5$; штриховыми линиями показан обратный ход развертки. Здесь же приведены соответствующие данному растру законы строчной $X(t)$ (рисунок. 1.3, б) и кадровой $Y(t)$ (рисунок 1.3, в) развертки. Из рисунка видно, что за время кадра T_k , разлагающая апертура совершает пять (по числу строк z) полных циклов строчной развертки с периодом T_c .

За счет кадровой развертки каждая последующая строка сдвинута по вертикали на величину δ - шаг разложения. После окончания текущего кадра начинается следующий, который в точности повторяет предыдущий. Следует отметить, что оптимальный размер разлагающей апертуры при построчной развертке в двух взаимно перпендикулярных направлениях (горизонтальном - по строке и вертикальном - по кадру) равен шагу разложения δ . Параметром изображения является также формат кадра k , определяемый по формуле:

$$k = l_p / h_p ,$$

где l_p - ширина растра; h_p - высота растра.

Принцип формирования чересстрочной развертки поясняет рисунок 1.4 для случая $z=5$. При чересстрочной развертке каждый кадр разбивается на два одинаковых по длительности поля (полукадра) с периодом $T_n = T_k/2$. При нечетном z строки четного поля (жирные штриховые линии на

рисунке. 1.4, а) располагаются в середине промежутка между соседними строками нечетного поля, образуя чересстрочный растр с результирующим шагом разложения δ , равным размеру апертуры. При четном z строки четного и нечетного полей совмещаются, в результате образуется построчный растр с числом строк разложения $z/2$. В вещательных системах телевидения используется исключительно чересстрочная развертка, так как она позволяет, не снижая качества изображения, уменьшить вдвое верхнюю граничную частоту $f_{\text{в}}$ спектра видеосигнала.

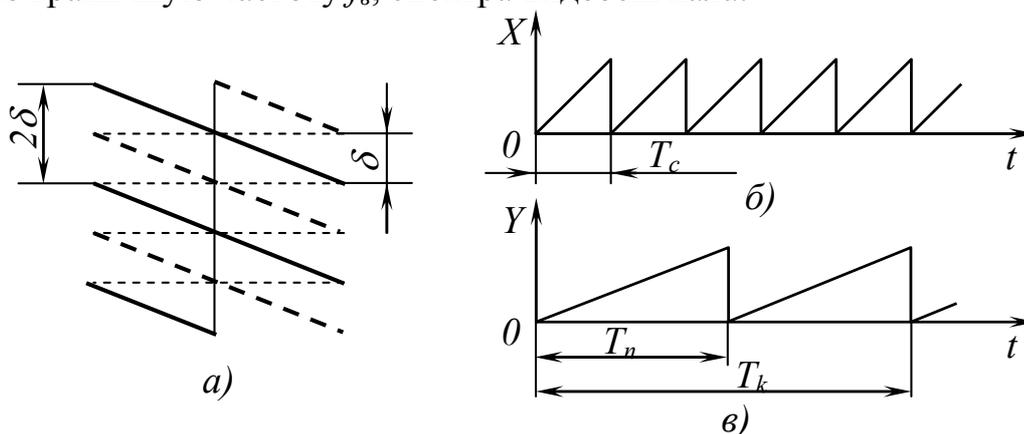


Рисунок 1.4 – Чересстрочная развертка

Приближенную оценку $f_{\text{в}}$ для построчной и чересстрочной развертки можно получить по формуле:

$$f_{\text{в}} = k \cdot z^2 \cdot f_{\text{к}} / 2, \quad (1.1)$$

где $f_{\text{к}} = 1/T_{\text{к}}$, - частота кадров. Здесь предполагается, что для передачи информации о распределении освещенности на участке изображения размером в два элемента разложения, один из которых освещен, а другой затемнен, достаточно одного периода, причем положительная полуволна соответствует освещенному элементу, отрицательная - затемненному. Недостаток формулы (1.1) состоит в том, что она не учитывает влияния конечного времени обратного хода строчной (t_c) и кадровой (t_k) разверток. Уточненная формула для верхней граничной частоты имеет вид:

$$f_{\text{в}} = k \cdot z^2 \cdot f_{\text{к}} \cdot (1 - \beta) / [2 \cdot (1 - \alpha)], \quad (1.2)$$

где $\beta = t_c / T_{\text{к}}$, - относительное время обратного хода кадровой развертки;
 $\alpha = t_c / T_c$ - относительное время обратного хода строчной развертки.

Во время обратного хода строчной и кадровой разверток видеосигнал не формируется. Эти интервалы времени используются для передачи служебных сигналов - строчных и кадровых гасящих и синхронизирующих импульсов.

На рисунке 1.5 показана структура видеосигнала и его связь с геометрическими и яркостными характеристиками изображения. Из рисунка видно, что полное представление о структуре видеосигнала можно

получить, рассматривая его в двух масштабах - в масштабе строки T_c и в масштабе кадра $T_k = z \cdot T_c$.

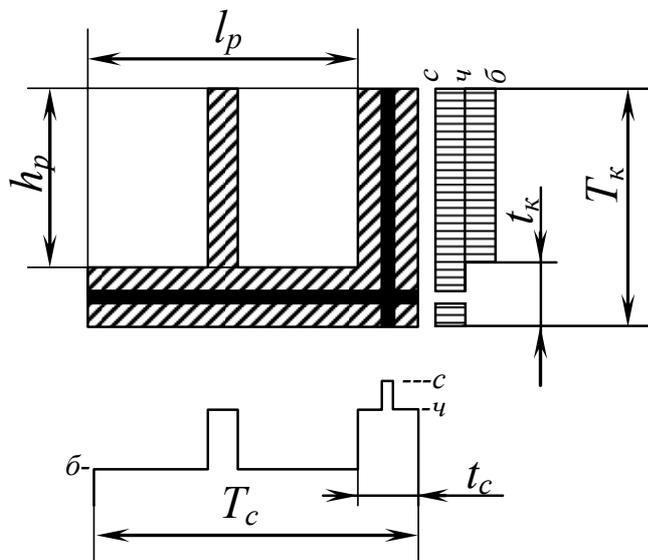


Рисунок 1.5 – Структура видеосигнала

Во время прямого хода кадровой развертки длительностью $t_{nx} = (1 - \beta) \cdot T_k$ формируются активные строки. Число активных строк в кадре $z_{акт} = (1 - \beta) \cdot z$. В каждой активной строке также можно выделить время прямого хода длительностью $t_{nc} = (1 - \beta) \cdot T_c$ и время обратного хода длительностью $t_c = \alpha \cdot T_c$. Во время прямого хода строчной развертки формируется сигнал изображения, содержащий информацию о распределении освещенности вдоль текущей строки. Во время обратного хода строчной развертки передаются служебные сигналы - строчный гасящий импульс (СГИ) длительностью t_c и расположенный на его вершине строчный синхронизирующий импульс (ССИ) длительностью τ_c .

Таким образом, информационный сигнал изображения и служебные сигналы разделены во времени. Кроме того, они разделены и по амплитуде (т. е. по динамическому диапазону). Действительно, сигнал изображения может принимать любые значения от уровня $б$ (уровень белого) до уровня $ч$ (уровень черного), а служебные сигналы - любые значения от уровня черного, на котором расположены вершины гасящих (строчных и кадровых) импульсов, до уровня $с$ (уровень синхроимпульсов). Разделение информационных и служебных сигналов во времени и по динамическому диапазону позволяет надежно изолировать их друг от друга и избежать взаимных помех. После окончания прямого хода по кадру формируется кадровый гасящий импульс (КГИ) длительностью t_k на вершине которого располагаются кадровый синхронизирующий импульс (КСИ)

длительностью τ_k и ССИ. Чтобы последовательность строчных синхроимпульсов не прерывалась во время действия КСИ, принимаются специальные меры, приводящие к некоторому усложнению синхросмеси (врезки, уравнивающие импульсы).

В телевизионных системах визуального наблюдения (как вещательного так и прикладного назначения) после передачи видеосигнала по каналу связи производится восстановление (синтез) ТВ-изображения в месте приема. Синтез изображения - операция, обратная разложению, также связан с процессом развертки в плоскости изображения синтезирующей апертуры. Растры, формируемые в процессе развертки на приемной и передающей сторонах ТВ-системы, должны быть одинаковы по структуре, чтобы обеспечивалось геометрическое подобие ТВ-изображения и передаваемого оригинала. Это достигается путем синхронизации развертывающих устройств на приемной и передающей сторонах от общего источника синхронизирующих импульсов - синхрогенератора. Синхронизирующие импульсы формируются обычно на передающей стороне и передаются в составе полного телевизионного сигнала по каналу связи. Структура ТВ-сигнала такова, что сравнительно просто отделить сигнал синхронизации от сигнала изображения и обеспечить устойчивую синхронизацию разверток ТВ-приемника.

В качестве синтезирующей апертуры в ТВ-приемниках в настоящее время наиболее широко используется подвижное световое пятно, возникающее в результате взаимодействия сфокусированного электронного луча высокой энергии с катодолуминофором, нанесенным на экран приемной телевизионной электронно-лучевой трубки - кинескопа. При развертке световым пятном постоянной яркости на экране кинескопа высвечивается немодулированный растр, представляющий основу для формирования ТВ-изображения. Модуляция раstra и синтез изображения достигаются путем подачи видеосигнала на управляющий электрод (модулятор) кинескопа.

Упрощенная структурная схема телевизионной системы визуального наблюдения приведена на рисунке 1.6.

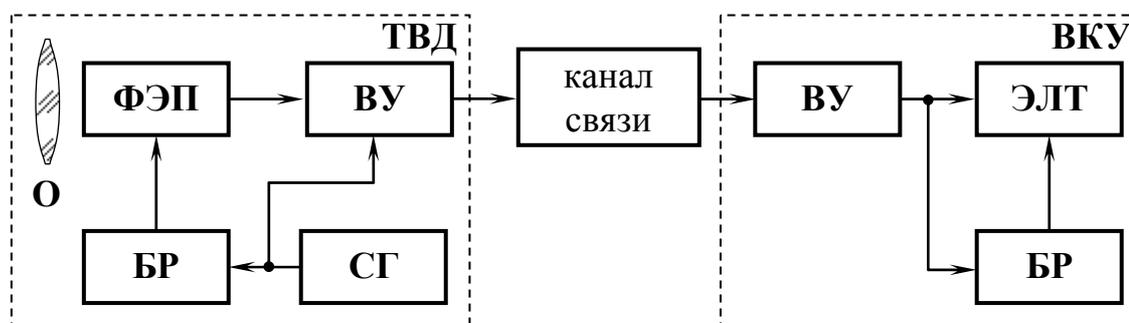


Рисунок. 1.6 – Упрощенная структурная схема телевизионной системы визуального наблюдения

Передающая часть ТВ-системы – телевизионный датчик (ТВД) - является источником видеосигналов и содержит в своем составе оптическое устройство (О), фотоэлектрический преобразователь (ФЭП), блок разверток (БР), видеоусилитель (ВУ) и синхрогенератор (СГ)-Сформированный на выходе ВУ полный ТВ-сигнал по каналу связи передается в место приема, где с помощью видеоконтрольного устройства (ВКУ) изображение восстанавливается на экране кинескопа (ЭЛТ). Синхронизация блока разверток в видеоконтрольном устройстве производится синхроимпульсами, выделенными из полного ТВ-сигнала.

1.2 Требования, предъявляемые к видеоинформационным измерительным системам

В отличие от телевизионных систем визуального наблюдения, решающих задачи неискаженной передачи на расстояние и качественного воспроизведения визуальной информации, основной задачей измерительного телевидения является извлечение количественной информации об объектах, находящихся в поле зрения ТВД, с целью её использования для конкретных задач контроля и управления. Видеоинформационные измерительные системы (ВИИС) или как их еще называют телевизионные измерительные системы (ТИС) предназначены для дистанционного автоматического контроля за состоянием пространства в угле поля зрения ТВД, измерения параметров совокупности объектов, находящихся в контролируемом пространстве, и при необходимости для управления состоянием и взаимодействием этих объектов. Это позволяет отнести к ВИИС широкий класс приборов и устройств, используемых в прикладном и промышленном телевидении для сбора и обработки разнообразной информации, а также для контроля и управления технологическими процессами в составе робототехнических комплексов.

ВИИС делятся на автоматизированные (или полуавтоматические), в которых необходимо наличие оператора для работы системы, и полностью автоматические – функционируют без участия оператора.

При составлении технического задания на разработку какой-либо ВИИС, а также технических условий её применения необходимо сформулировать ряд основных параметров и характеристик, к числу которых относятся следующие [1]:

Точностные параметры и характеристики (характеристики измерения, обнаружения, распознавания). Применительно к измерительным системам здесь обычно идёт речь о среднеквадратических или предельных погрешностях измерения, о стабильности метрологических параметров и т. п. Применительно к ВИИС, решающим

задачи предварительного обнаружения или распознавания объектов, обычно указываются такие параметры как допустимая вероятность ложного обнаружения (ложной идентификации) и, наоборот, вероятность пропуска (неопознавания) объектов при условии его нахождения в зоне наблюдения. В качестве характеристик обнаружения (распознавания) используются, например, зависимости правильного обнаружения (распознавания) от отношения сигнал/шум (при фиксированных значениях допустимой вероятности ложного обнаружения, ложной идентификации) и др.

Функциональные параметры. Число и вид измеряемых величин (или объектов наблюдения), диапазон измеряемых величин, время измерения (обнаружения или распознавания объектов), готовность к работе после включения, степень автоматизации контроля выходных величин и др.

Эксплуатационные параметры. Температурный диапазон, допустимый уровень механических воздействий (ударов, вибраций), надёжность системы, возможность её адаптации или самоадаптации при изменении условий наблюдения. Габариты, масса, потребляемая мощность и др.

Экономические показатели. Стоимость отдельных компонентов и системы в целом, степень их унификации и др.

Следует помнить, что под параметром понимают численное значение какой-либо величины, отражающей определённое качество системы (например, среднеквадратическая погрешность измерения); характеристика представляет собой зависимость того или иного параметра от изменения одного из внешних факторов (например, зависимость среднеквадратической погрешности от температуры).

ВИИС можно разделить на три основных типа: регистрирующие, с адаптацией и управляющие. Схема ВИИС регистрирующего типа приведена на рисунке 1.7.

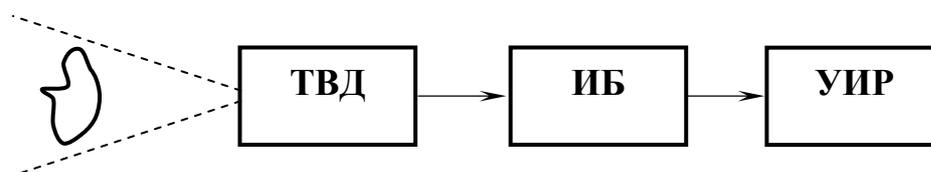


Рисунок 1.7 – Структурная схема ВИИС регистрирующего типа

В ее состав входят ТВД предназначенный для формирования изображения объекта, находящегося в поле зрения системы, и передачи его в виде электрического сигнала в измерительный блок (ИБ). Измерительный блок предназначен для осуществления предварительной обработки изображения (фильтрации, преобразования стандартов, усиления и др.), извлечения количественной информации об объекте и формирования сигнала для устройства индикации и регистрации (УИР) результатов. Устройство индикации предназначено для отображения

результатов информации об объекте измерения и, при необходимости, их регистрации. Для успешной работы ВИИС данного типа необходимо предъявить измеряемый объект в поле зрения ТВД и создать стабильные, обусловленные свойствами ТВД, условия наблюдения за объектом. В общем случае алгоритм работы измерительного блока должен предусматривать автоматический поиск и обнаружение объекта.

В случае, когда размеры объекта, его местоположение, освещенность и другие параметры могут изменяться в широких пределах, целесообразно использовать более совершенные ТИС с адаптацией к условиям наблюдения (рисунок 1.8). В системах такого типа, по сравнению с уже известной структурой введен дополнительно контур адаптации, состоящий из формирователя управляющих сигналов (ФУС) и исполнительного устройства (ИУ), изменяющего тот или иной параметр ТВД (например, поворот оптической оси, изменение угла зрения, диафрагмы объектива и т. д.) таким образом, чтобы оптимизировать условия измерения контролируемого параметра объекта. Сочетание функций слежения и измерения обеспечивает ТИС с адаптацией высокую точность и устойчивость результатов измерения. Структура системы позволяет также производить автоматический поиск и обнаружение объекта.

Телевизионные измерительные системы управляющего типа (рисунок 1.9) содержат дополнительно контур управления, аналогичный по структуре контуру адаптации и позволяющий поддерживать на заданном уровне или изменять по заданной программе контролируемый параметр объекта.

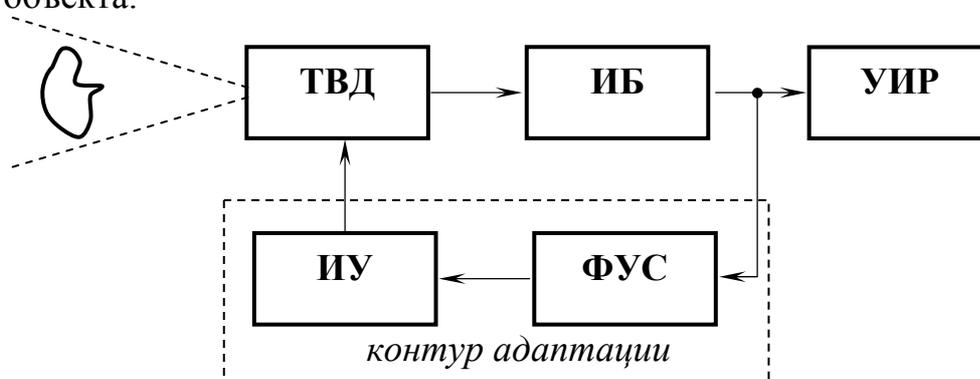


Рисунок 1.8 – Схема ВИИС с адаптацией

Следует отметить, что, несмотря на одинаковую структуру контуров адаптации и управления, они выполняют различные функции, имеют в своем составе разнородные исполнительные механизмы и управляются разными сигналами, хотя и имеют общий информационный источник для формирования управляющих сигналов - телевизионное изображение объекта. Можно представить, например, ВИИС промышленного применения, которая используется для контроля и управления нагревом

детали, перемещаемой в ходе технологического процесса относительно ТВД.

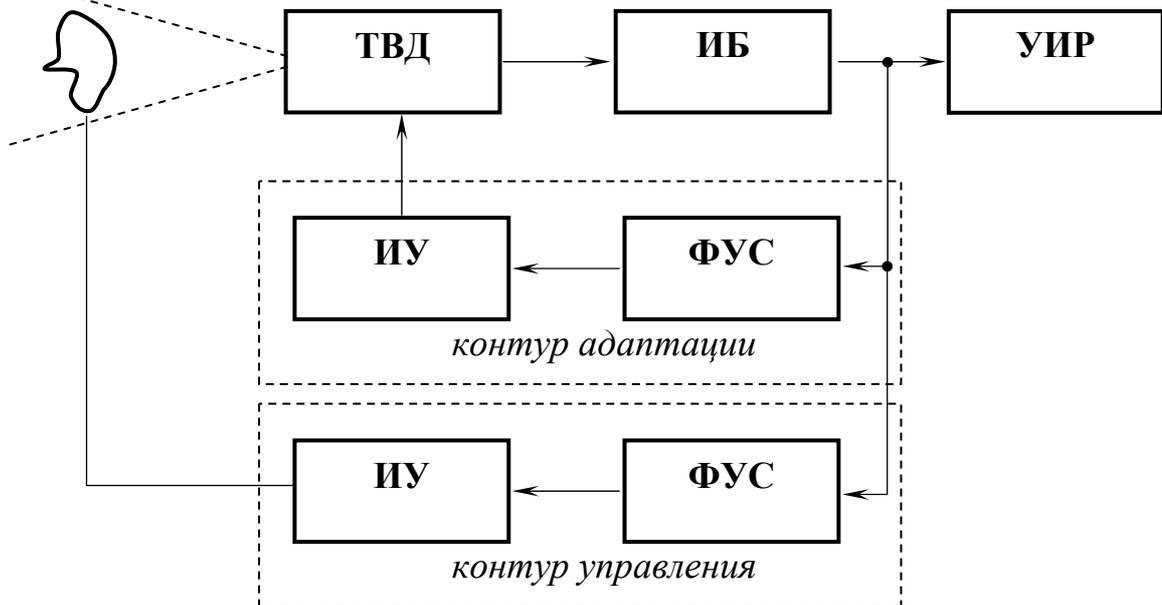


Рисунок 1.9 – Схема ВИИС управляющего типа

Контур адаптации в такой системе должен автоматически стабилизировать положение изображения детали в центре ТВ-растра путем поворота ТВД вслед за перемещаемой деталью. Такой режим слежения реализуется на основе выделенной из видеосигнала координатной информации об объекте. Контур управления, в свою очередь, на основе выделенной из ВС информации о цветовой температуре объекта автоматически регулирует режим работы нагревательного элемента таким образом, чтобы в нужный момент была достигнута и поддерживалась заданная температура нагрева детали. Отсюда видно, что ВИИС управляющего типа могут обеспечивать решение робототехнических задач.

Сравнение структурных схем телевизионных систем визуального наблюдения и измерительных телевизионных систем позволяет установить, что между ними общего, и, с другой стороны, указать на принципиальные различия между ними. Признаком, согласно которому оба типа систем следует отнести к телевизионным, является наличие ТВД, что связано с одинаковым способом преобразования оптического изображения наблюдаемой сцены (объекта) в видеосигнал. Основное же отличие между системами состоит в назначении и дальнейшем использовании видеосигнала. В телевизионных системах визуального наблюдения обязательной заключительной операцией является преобразование видеосигнала в изображение, при этом качество работы системы оценивается степенью соответствия ТВ-изображения на экране

ВКУ его оптическому оригиналу. Выбор ТВ-стандарта, совершенствование отдельных узлов, введение корректирующих блоков (противошумовая, апертурная, γ -коррекция) и другие меры по модернизации вещательной системы направлены в конечном итоге на улучшение качества ТВ-изображения повышение его информативности, достижение максимального зрительного эффекта.

Принципиально важной отличительной особенностью ВИИС является наличие измерительного блока, предназначенного для обработки ВС с целью извлечения из него информации о наблюдаемом объекте и измерения контролируемых параметров этого объекта. Именно этот признак - наличие измерительного блока - является определяющим для отнесения системы к классу ВИИС. Конкретная конфигурация структуры ВИИС, характер взаимодействия и способ реализации входящих в нее узлов определяются назначением системы, типом решаемой задачи и могут быть чрезвычайно разнообразными, однако неизменным остается наличие измерительного блока.

Следующей отличительной особенностью ВИИС является способ представления информации на выходе системы. В отличие от телевизионных систем визуального наблюдения, в которых информация представляется в виде ТВ-изображения на экране видеоконтрольного устройства и предназначается для визуального восприятия, в ВИИС выходная информация в виде цифровых или аналоговых сигналов поступает на устройство регистрации и индикации или же используется в канале управления. Характерной особенностью этих сигналов является однозначная связь между параметром информационного сигнала и измеряемым параметром объекта. Например, в телевизионном счетчике числа объектов результат измерения может быть представлен в виде цифрового двоичного кода на выходе измерительного блока. В блоке индикации и регистрации число в двоичном коде преобразуется в десятичное число, которое высвечивается на цифровом табло. Полученный результат может быть подвергнут однозначной оценке независимо от индивидуальных и субъективных особенностей потребителя информации. Отсюда следует, что возможно построение объективного количественного критерия качества работы ВИИС, основанного на исследовании точностных характеристик результатов измерений. Создание аналогичного критерия для телевизионных систем визуального наблюдения затруднено, как уже отмечалось, из-за отсутствия обобщенного количественного и, главное, объективного критерия оценки качества изображения.

Следует отметить, что в некоторых случаях в качестве устройства индикации и регистрации в ВИИС используется телевизионный экран, на котором для удобства работы оператора воспроизводится ТВ-изображение наблюдаемого объекта и результаты измерения параметров этого объекта в виде буквенно-цифровой информации, совмещенной с изображением. В

автоматических ВИИС управляющего типа блок индикации вообще может отсутствовать. Таким образом, наличие или отсутствие блока индикации, тип индикатора относятся к числу несущественных признаков ВИИС.

В таблице 1.1 приведен перечень существенных признаков телевизионных систем визуального наблюдения и измерительного типов.

Таблица 1.1

Признак ТВ системы	ТСВН	ВИИС
Наличие ТВД	обязательно	обязательно
Наличие ВКУ	обязательно	необязательно
Наличие измерительного блока	необязательно	обязательно
Высокое качество изображения	обязательно	необязательно
Высокая точность измерения	необязательна	обязательна
Субъективный критерий качества	да	нет
Объективный критерий качества	нет	да

Видно, что единственным существенным признаком, объединяющим системы обоих типов, является наличие ТВД. В остальном ВИИС значительно отличаются от визуальных систем, поэтому требуются специфические методы их изучения.

1.3 Информативность оптического изображения

Измерительные возможности телевизионных систем определяются количеством неискаженной информации об объекте, содержащейся в видеосигнале с выхода ТВД. Процесс формирования видеосигнала состоит из двух этапов. На первом строится оптическое изображение объекта в плоскости фотоэлектрического преобразователя (ФЭП), на втором с помощью ТВ-развертки оно преобразуется в видеосигнал. Оптическая система (объектив) ТВД предназначена для создания оптического изображения на входе ФЭП. Это изображение, если пренебречь искажениями, вносимыми объективом и средой распространения света, можно рассматривать как центральную проекцию объекта на плоскость.

Свойства центральной проекции позволяют рассматривать изображение объекта как его масштабированную копию, в которой сохраняется информация об объекте, и, следовательно, его параметры могут быть вычислены путем соответствующего пересчета измеренных параметров оптического изображения. Среди параметров объекта, которые могут быть определены по его оптическому изображению, выделим три группы: геометрические, энергетические, цветовые (таблица 1.2).

Таблица 1.2

Параметры объекта		
геометрические	энергетически е	цветовые
Линейный размер l Угловой размер ω Площадь S Координаты: – по горизонтали X – по вертикали Y Угловые координаты: – по горизонтали α – по вертикали β	Световой поток Φ Освещенность E Яркость L Сила света I	Система XYZ: – координаты цвета x', y', z' – координаты цветности x, y, z Система RGB: – координаты цвета r', g', b' – координаты цветности r, g, b

В первом приближении связь между геометрическими параметрами объекта и его оптическим изображением может быть установлена на основании законов геометрической оптики. На рисунке 1.10 показано, как формируется изображение удаленного объекта объективом с фокусным расстоянием f . При $Z \gg f$ (Z - расстояние до объекта) сфокусированное изображение объекта формируется в фокальной плоскости объектива, при этом линейный масштаб изображения $M = f' / Z$.

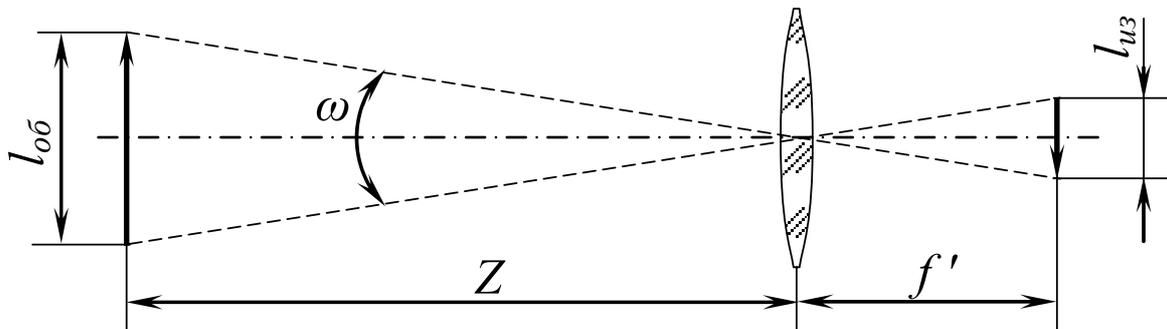


Рисунок 1.10 – Формирование оптического изображения объекта

Соотношения для определения геометрических параметров объекта приведены в таблице 1.3. Координаты X, Y отсчитываются относительно осей x, y , пересекающихся на оптической оси объектива; угловые координаты α, β отсчитываются относительно оптической оси объектива. Для вычисления некоторых геометрических параметров объекта необходимо знать масштаб изображения M , что возможно при известной дальности объекта Z .

Таблица 1.3

геометрический параметр	Соотношение
Линейный размер	$l = l_{uz} / M$
Угловой размер	$\omega = 2 \arctg(l_{uz} / (2f'))$; $\omega \approx l_{uz} / 2f'$, при $f' \gg l_{uz}$
Площадь	$S = S_{uz} / M^2$
Координаты: – по горизонтали – по вертикали	$X = X_{uz} / M = Z \times tg\alpha$, $Y = Y_{uz} / M = Z \times tg\beta$
Угловые координаты: – по горизонтали – по вертикали	$\alpha = \arctg(X_{uz} / f')$; $\alpha \approx X_{uz} / f'$, при $f' \gg X_{uz}$ $\beta = \arctg(Y_{uz} / f')$; $\beta \approx Y_{uz} / f'$, при $f' \gg Y_{uz}$

Здесь следует заметить, что приведенные в таблице 1.3 соотношения, строго говоря, справедливы для случаев наблюдения объектов заметной формы и размеров. При решении задач измерения координат точечных объектов помимо законов геометрической оптики необходимо учитывать также влияние аберраций оптической системы, предопределяющих вид весовой функции объектива, а, следовательно, и форму изображения наблюдаемого объекта.

Для расчета энергетических (светотехнических) параметров объекта по известной освещенности E_{uz} , создаваемой объектом в плоскости входного окна ФЭП, необходимо знать следующие параметры объектива и объекта: ε - относительное отверстие объектива, равное отношению диаметра входного зрачка объектива D к фокусному расстоянию f' ; ε^2 - геометрическую светосилу объектива; τ - коэффициент пропускания объектива; $\tau\varepsilon^2$ - физическую светосилу объектива; ρ - коэффициент диффузного отражения поверхности объекта. Расчетные соотношения, связывающие между собой энергетические параметры объекта и его оптического изображения, приведены в таблице 1.4. Здесь же приведены формулы для расчета освещенности поверхности объекта точечным источником света силой света I_0 , расположенным на расстоянии r от объекта под углом α_0 к поверхности объекта, а также для расчета

элементарного светового потока Φ_{ε} приходящегося на один элементарный участок (элемент) оптического изображения объекта площадью S_{ε} .

Таблица 1.4

Энергетический параметр	Соотношение
Световой поток	$\Phi = 4E_{из} S(1 - M)^2 / (\tau \varepsilon^2)$
Яркость	$L = 4E_{из} (1 - M)^2 / (\pi \tau \varepsilon^2)$
Освещенность	$E = 4E_{из} (1 - M)^2 / (\rho \tau \varepsilon^2);$ $E = (I_0 \cos \alpha_0) / r^2$
Сила света	$I = \Phi / \pi = LS$
Световой поток на элемент разложения	$\Phi_{\varepsilon} = E_{из} / S_{\varepsilon}$

Расчет цветовых параметров объекта возможен на основе колориметрических соотношений, которые позволяют определить цвет и цветность этого излучения. Любой цвет геометрически определяется положением соответствующей точки в трехмерном пространстве цветов. Координаты этой точки, отсчитываемые вдоль осей основных цветов, называются модулями.

Существует множество колориметрических систем измерения цвета, из которых наиболее широко используются две: система XYZ , построенная на фиктивных основных цветах, и система RGB , в которой в качестве основных цветов выбраны красный R , зеленый G и синий B цвета свечения люминофоров.

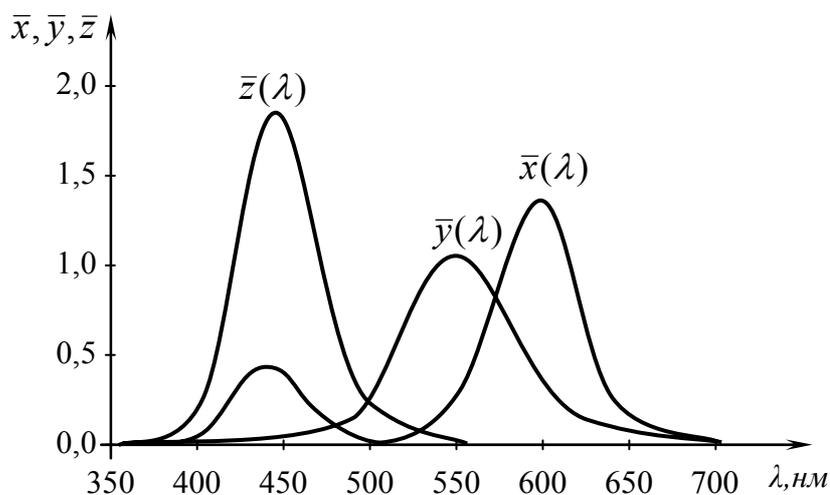


Рисунок 1.11 – Удельные координаты в системе XYZ

Модули цвета в колориметрической системе RGB обозначаются r' , g' , b' , они показывают, в каких количествах необходимо смешать основные цвета R , G , B , чтобы получить заданный цвет с заданным модулем m_M . Математически это записывается с помощью колориметрического уравнения

$$m_M M = r' \cdot R + g' \cdot G + b' \cdot B, \quad (1.3)$$

для которого выполняется условие

$$m_M = r' + g' + b'. \quad (1.4)$$

Аналогично записывается колориметрическое уравнение в системе XYZ: $m_\Phi \Phi = x' \cdot X + y' \cdot Y + z' \cdot Z$, где $m_\Phi = x' + y' + z'$. Для вычисления модулей (координат) цвета излучения в колориметрической системе XYZ используются следующие выражения:

$$x' = \int w(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad y' = \int w(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad z' = \int w(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda, \quad (1.5)$$

где $w(\lambda)$ – спектральная плотность мощности излучения, Вт/нм; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – удельные координаты спектрально чистых цветов в системе XYZ (рисунок 1.11). Интегрирование выражений (1.5) производится в видимом диапазоне длин волн λ от 380 до 760 нм.

Для определения координат цвета в системе RGB можно использовать матричное уравнение вида:

$$\begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}, \quad \text{где } A = \begin{bmatrix} 6,05 & -1,68 & -0,91 \\ -3,11 & 6,32 & -0,01 \\ 0,18 & -0,37 & 2,84 \end{bmatrix}$$

При обратном переходе от системы RGB к системе XYZ расчет производится в соответствии с матричным выражением

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix}, \quad \text{при этом } A^{-1} = \begin{bmatrix} 0,61 & 0,17 & 0,20 \\ 0,30 & 0,59 & 0,11 \\ 0,00 & 0,07 & 1,11 \end{bmatrix}.$$

Цветовые модули x' , y' , z' или r' , g' , b' являются исчерпывающей характеристикой цвета, включая его энергетическую характеристику. Часто при колориметрических расчетах бывает удобно от трехмерного пространства цветов перейти к двумерному пространству цветностей. Для этого колориметрическое уравнение (1.3) достаточно преобразовать к виду

$$M = rR + gG + bB,$$

$$\text{где } r = r'/m_M; \quad g = g'/m_M; \quad b = b'/m_M \quad (1.6)$$

Из выражений (1.4) и (1.6) видно, что

$$r + g + b = 1 \quad (1.7)$$

Цвет M называется единичным цветом, а его координаты r, g, b - трехцветными коэффициентами. Для всех единичных цветов справедливо выражение (1.7), которое фактически является уравнением плоскости единичных цветов в колориметрической системе RGB .

Аналогично в системе XYZ колориметрическое уравнение для единичных цветов принимает вид: $\Phi = xX + yY + zZ$, а для плоскости единичных цветов имеем

$$x + y + z = 1 \quad (1.8)$$

Положение точки в плоскости единичных цветов характеризует цветность излучения. Для количественного описания цветности достаточно знать два трехцветных коэффициента, например x и y , а z найти из выражения (1.8) по формуле $z = 1 - (x + y)$.

Цветовой график в колориметрической системе XYZ изображен на рисунке 1.12. Он представляет проекцию плоскости единичных цветов (1.8) с изображенной на ней фигурой реальных цветов на плоскость XOY .

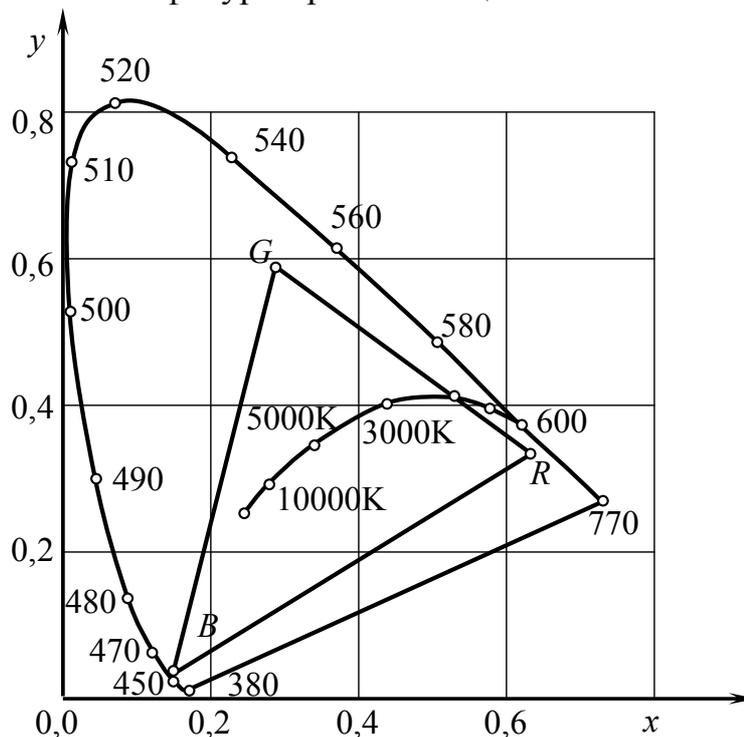


Рисунок 1.12 – Цветовой график XYZ

Фигура реальных цветов ограничена дугообразной линией, на которой расположены цвета монохроматических излучений с длинами волн от 380 до 780 нм, и линией пурпурных цветов, соединяющей концы дуги. На цветовом графике XYZ показан также треугольник основных цветов RGB и линия черного тела, соединяющая точки цветностей идеальных излучателей с различными цветовыми температурами.

Соотношения между цветовыми параметрами излучения (отражения) объекта и его изображения на входе ФЭП приведены в таблице 1.5.

Видно, что цветовые модули объекта и его изображения пропорциональны, причем коэффициент пропорциональности K_0 определяется физической светосилой объектива и масштабом изображения. Параметры цветности (т. е. трехцветные коэффициенты) объекта и его изображения одинаковы. Следует также отметить, что соотношения между цветами объекта и его изображения, приведенные в таблице 1.5, справедливы, если объектив не вносит в изображение спектральных искажений, т. е. когда $\tau(\lambda) = \tau = const.$

Таблица 1.5

Цветовой параметр	XYZ	RGB
Цветовые координаты	$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = K_0 \begin{bmatrix} x'_{из} \\ y'_{из} \\ z'_{из} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = K_0 \begin{bmatrix} r'_{из} \\ g'_{из} \\ b'_{из} \end{bmatrix},$ где $K_0 = 4(1 - M)^2 / (\tau \varepsilon M^2)$
Трехцветные коэффициенты	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{из} \\ y_{из} \\ z_{из} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{из} \\ g_{из} \\ b_{из} \end{bmatrix}$
Световой поток	$\Phi = 683 y'$	$\Phi = 683(0,3r' + 0,59g' + 0,11b')$

1.4 Измерение параметров оптического изображения

Как было показано выше, оптическое изображение на входе ТВД содержит информацию о наблюдаемом объекте. Эта информация может быть восстановлена путем измерения и пересчета параметров изображения. Измерение параметров в ТИС производится косвенным образом, через измерение параметров видеосигнала, сформированного на выходе ТВД. Установим аналитические соотношения между видеосигналом и оптическим изображением, которые бы учитывали бы свойства развертки, ТВД и видеоусилителя. Если рассматривать процесс образования видеосигнала, как функции времени, на выходе ТВД упрощенно, то можно выделить два этапа:

$$E(X_{из}, Y_{из}) \Rightarrow Q(i, j) \Rightarrow U_c(t). \quad (1.9)$$

На первом этапе оптическое изображение $E(X_{из}, Y_{из})$ преобразуется в зарядовый рельеф $Q(i, j)$ функцию дискретных пространственных аргументов i и j . Величина накопленного заряда, снимаемого с i -того элемента j -той строки, определяется выражением:

$$Q(i, j) = \int_{i\Delta x}^{(i+1)\Delta x} \int_{j\Delta y}^{(j+1)\Delta y} S_{интI} T_H E(x, y) dx dy, \quad (1.10)$$

где $S_{интI}$ – интегральная токовая чувствительность фотоприёмника; T_H – время накопления; i, j – координаты фоточувствительного элемента; Δx и Δy – размеры фоточувствительного элемента по горизонтали и вертикали соответственно [1]. В случае если ФЭП позволяет организовать произвольный доступ к элементам разложения, то можно было бы остановиться, однако, в большинстве ТВД на выходе образуется видеосигнал как функция одной переменной t . Таким образом, в процессе вывода зарядов из ФЭП осуществляется второй этап преобразования:

$$U_c(t) = Q(i, j) / C_{вых},$$

где $C_{вых}$ – емкость выходной структуры ТВД.

Вернемся к задаче определения координат изображения $X_{из}$ и $Y_{из}$ по видеосигналу. В качестве примера рассмотрим измерение параметров изображения малоразмерного объекта [8]. Пусть изображение объекта расположено на расстояниях $X_{из}$ и $Y_{из}$ относительно координатных осей. При разложении изображения в момент времени t происходит совмещение развертывающей апертуры с изображением объекта, размер которого равен размеру элемента (точечный объект); при этом мгновенное значение видеосигнала максимально и равно U_c . В случае линейной построчной развертки справедливо соотношение

$$t = (j - 1)T_c + t_x, \quad (1.11)$$

где j – порядковый номер строки, в которой зафиксировано появление импульса от объекта; t_x – интервал времени от начала данной строки до момента достижения импульсом объекта максимального значения U_c .

Учитывая, что начальным пунктом развертки является точка с координатами $(-l_p/2; h_p/2)$, с которой центр апертуры совмещается в момент времени $t=0$, а развертка производится со скоростью V_{px} по горизонтали и V_{py} по вертикали, получим для координат изображения объекта:

$$X_{из} = V_{px}t_x - \frac{l_p}{2}; \quad Y_{из} = V_{py}t + \frac{h_p}{2} \quad (1.12)$$

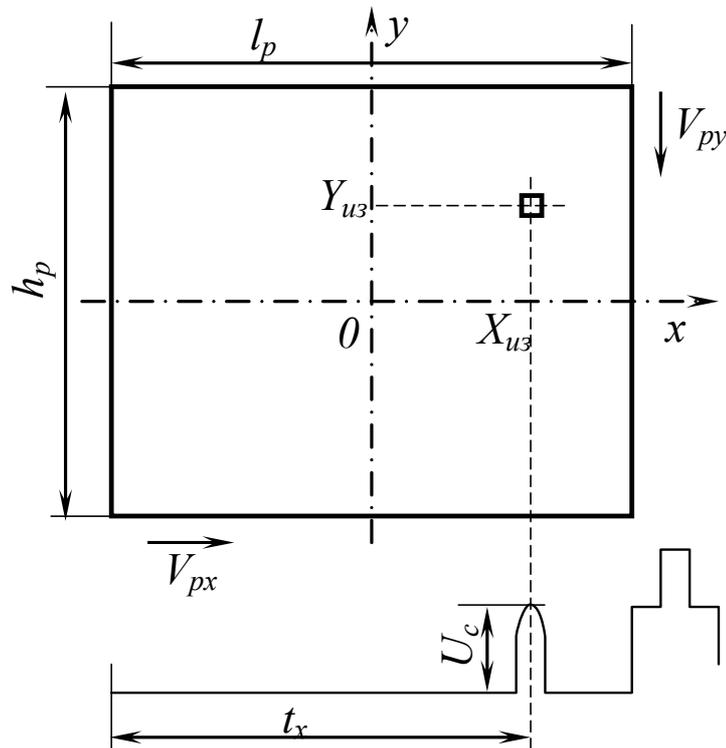


Рисунок 1.13 – К определению координат точечного объекта

Таким образом, для определения координатной информации об изображении объекта достаточно измерить временные расстояния вершины видеоимпульса от начала строчной (t_x) и кадровой (t) разверток. Практически удобнее при измерении координаты Y фиксировать порядковый номер строки (j), в которой появляется видеоимпульс от объекта, и затем вычислять интервал времени t по формуле (1.11).

Далее перейдем к определению освещенности создаваемой объектом на входе ТВД. Выходное устройство преобразует зарядовые пакеты в напряжение или ток.

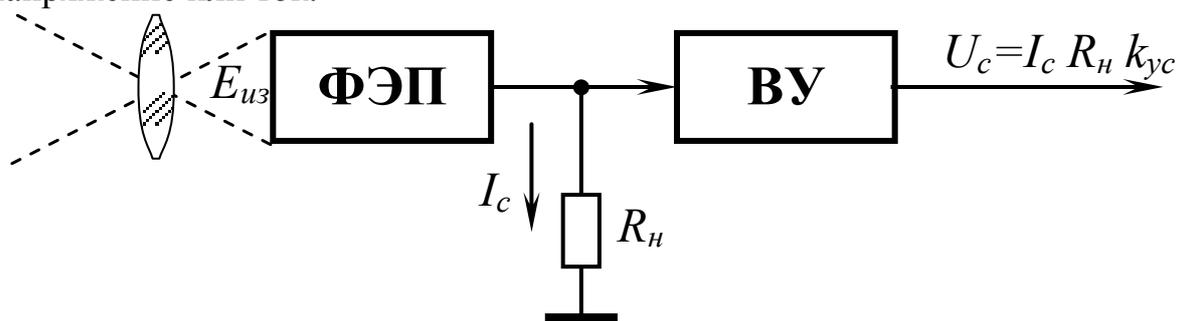


Рисунок 1.14 – Схема формирования видеосигнала ТВД

Для фиксированного элемента изображения, совпадающего с изображением малоразмерного объекта, выражение (1.9) можно записать в виде

$$U_c = f(E_{уз}) \quad (1.13)$$

Здесь исключена координатная информация и в явной форме представлено соотношение между амплитудой сигнала от объекта U_c и освещенностью $E_{уз}$, создаваемой объектом на входе ФЭП.

Схема формирования видеосигнала на выходе ТВД показана на рисунке 1.14, из которого видно, что амплитуда видеосигнала U_c определяется произведением тока сигнала I_c на выходе ФЭП, нагрузочного сопротивления R_n , и коэффициента усиления k_{yc} , видеоусилителя, т. е. зависит как от свойств ФЭП, так и от параметров согласующего и усилительного устройств. Для описания свойств ФЭП как преобразователя световой энергии в энергию электрического сигнала вводится световая характеристика (или характеристика свет - сигнал):

$$I_c = f(E_{уз}) \quad (1.14)$$

На основании рисунка 1.14 с учетом (1.14) выражение (1.13) можно уточнить и привести к виду $U_c = f(E_{уз})R_n k_{yc}$, откуда следует

$$E_{уз} = f^{-1}\left(\frac{U_c}{R_n k_{yc}}\right) \quad (1.15)$$

Эта формула представляет обратную световую характеристику (или характеристику сигнал-свет) ТВД. При этом функция f^{-1} обратна функции f , а аргументом функции f^{-1} является ток сигнала ФЭП, вычисленный по результатам измерения амплитуды видеоимпульса U_c : $I_c = U_c / R_n k_{yc}$. Выражением (1.15) целесообразно пользоваться в измерительном телевидении, когда по амплитуде сигнала U_c измеряется освещенность изображения объекта $E_{уз}$.

Для большинства современных ФЭП точные аналитические выражения световой характеристики (1.14) неизвестны. На практике пользуются экспериментально полученными световыми характеристиками ФЭП, которые в некоторых случаях могут быть аппроксимированы сравнительно простыми выражениями. Наиболее часто используется аппроксимация световой характеристики ФЭП степенной функцией вида

$$I_c = k_{ФЭП} E_{уз}^\gamma, \quad (1.16)$$

где $k_{ФЭП}$ - коэффициент пропорциональности, учитывающий чувствительность и режим работы ФЭП, а также стандарт разложения, А/лк; γ - коэффициент нелинейности световой характеристики ФЭП, зависящий от типа прибора и режима его работы.

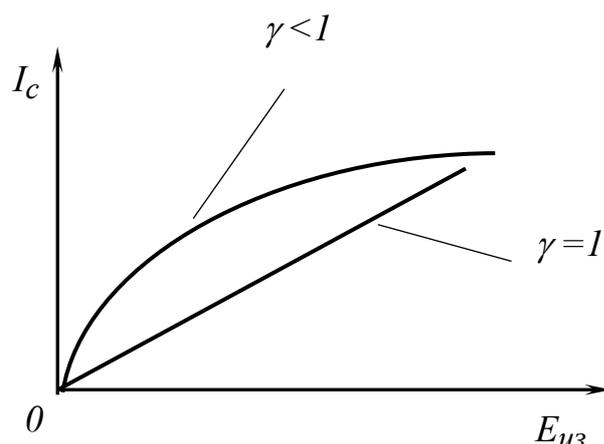


Рисунок 1.15 – Световые характеристики ТВД

Для существующих ФЭП, световая характеристика удовлетворяет условию $\gamma \leq 1$. При $\gamma=1$ световая характеристика ФЭП линейна (рис. 1.15).

Выражение (1.15) для обратной световой характеристики ТВД с учетом (1.16) можно привести к виду

$$E_{uz} = K_{ТВД} U_c^{1/\gamma}, \quad (1.17)$$

где коэффициент пропорциональности

$$K_{ТВД} = \frac{1}{(R_n k_{yc} k_{ФЭП})^{1/\gamma}} \quad (1.18)$$

учитывает свойства ТВД, включая параметры ФЭП. Фактически выражение (1.17) является частным случаем функции $E_{uz} = f^{-1}(U_c)$ и соответствует ТВД, использующему ФЭП со световой характеристикой (1.16).

Следует отметить, что выражение (1.16) позволяет восстановить яркостную информацию об изображении только при условии, что спектральная характеристика чувствительности в $\varepsilon(\lambda)$ ФЭП соответствует кривой видности зрения, которая совпадает с графиком удельной координаты $y(\lambda)$ (см. рисунок 1.11). При этом измерение E_{uz} фактически означает измерение яркостной координаты y'_{uz} цвета изображения объекта. Действительно, в соответствии с формулами, приведенными в таблицах 1.4 и 1.5, для изображения объекта размером в один элемент имеем:

$$\Phi_{\vartheta} = \Phi_{uz} = E_{uz} S_{\vartheta}; \quad y'_{\vartheta} = y'_{uz} = E_{uz} S_{\vartheta} / 683 \quad (1.19)$$

Для получения полной информации о цвете изображения одного измерительного канала недостаточно. Телевизионные датчики, предназначенные для цветного телевидения, строятся по трехканальной схеме, один из возможных вариантов которой приведен на рисунке 1.16.

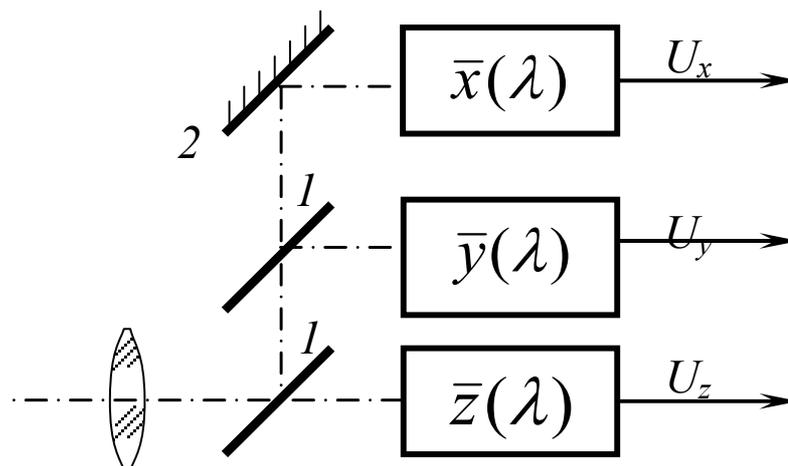


Рисунок 1.16 – Схема формирования цветного телевидения

Схема содержит три идентичных канала формирования сигналов цветности U_x, U_y, U_z , общий объектив и светоделительное устройство, состоящее из двух полупрозрачных зеркал 1 и отражающего зеркала 2. Каждый канал выполнен по схеме, приведенной на рисунке 1.14. Светоделительное устройство разделяет световой поток с выхода объектива на три равные части и направляет его на входные окна ФЭП каждого из трех каналов. Растры всех трех ФЭП совмещены, т. е. опрос элемента с одним и тем же порядковым номером во всех трех изображениях производится одновременно.

Чтобы сигналы цветности U_x, U_y, U_z содержали информацию о цвете изображения x', y', z' , необходимо выбрать спектральные характеристики чувствительности ФЭП каналов равными соответственно $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ (см. рисунок 1.11). При расчете цветовых координат справедливы формулы (1.16)—(1.18), а выражение (1.19) для канала U_x , имеет вид

$$x'_y = x'_{uz} = 3E_{uz}S_y / 683$$

где учтено трехкратное ослабление светового потока на входе ФЭП при светоделении, а через E_x , обозначен компонент светового потока на входе ФЭП, пропорциональный координате x' (аналогично E_y для y' и E_z для z').

Подводя итоги, сведем полученные соотношения в таблицу 1.6. Анализ полученных результатов позволяет сделать некоторые выводы:

- координатная информация о точечном объекте заключена во временном положении вершины видеоимпульса от объекта относительно начала строчной и кадровой разверток;
- яркостная информация об объекте заключена в амплитуде этого видеоимпульса;

– информация о цветности объекта (трехцветные коэффициенты x', y', z') заключена в соотношении амплитуд сигналов U_x, U_y, U_z на выходах трехканального ТВД цветного изображения.

Таблица 1.6

Параметр	Соотношение
Площадь	$S_{из} = S_{\varepsilon} = l_p h_p / (kz_{акт})^2 = l_p h_p / N$
Координаты по вертикали, по горизонтали	$X_{из} = V_{px} t_x - l_p / 2$ $Y_{из} = V_{py} t + h_p / 2$
Освещенность	$E_{из} = K_{ТВД} U_c^{1/\gamma}$, где $K_{ТВД}$ см в (1.18)
Яркостная координата	$y'_{из} = E_{из} S_{\varepsilon} / 683$
Для телевизионного датчика цветного изображения	
Цветовые координаты в системе XYZ	$\begin{bmatrix} x'_{из} \\ y'_{из} \\ z'_{из} \end{bmatrix} = \frac{3 K_{ТВД} S_{\varepsilon}}{683} \begin{bmatrix} U_x^{1/\gamma} \\ U_y^{1/\gamma} \\ U_z^{1/\gamma} \end{bmatrix}$
Освещенность	$E_{из} = 3 K_{ТВД} U_y^{1/\gamma}$
Цветовой модуль	$m_{из} = x'_{из} + y'_{из} + z'_{из}$
Трехцветные коэффициенты в системе XYZ	$\begin{bmatrix} x_{из} \\ y_{из} \\ z_{из} \end{bmatrix} = \frac{1}{m_{из}} \begin{bmatrix} x'_{из} \\ y'_{из} \\ z'_{из} \end{bmatrix}$

1.5 Информационные свойства видеосигнала

Видеосигнал, как и любой другой электрический сигнал, может быть представлен в аналоговой, дискретной или цифровой форме. Выбор формы представления видеосигнала зависит от типа ФЭП, используемой элементной базы, сложности решаемой задачи, требуемого быстродействия, объема обрабатываемой информации и других факторов.

На выходе ТВД видеосигнал формируется, как правило, в аналоговой форме. В ТВД, использующих приборы с зарядовой связью, видеосигнал представлен в дискретном виде. Усиление видеосигнала производится в аналоговой или дискретной форме. Что касается процесса его обработки с целью извлечения полезной информации об объекте

наблюдения, то пригодна любая форма представления видеосигналов. В настоящее время в связи с развитием микроэлектроники, микропроцессорной и вычислительной техники предпочтение все чаще отдается цифровым способам обработки сигналов.

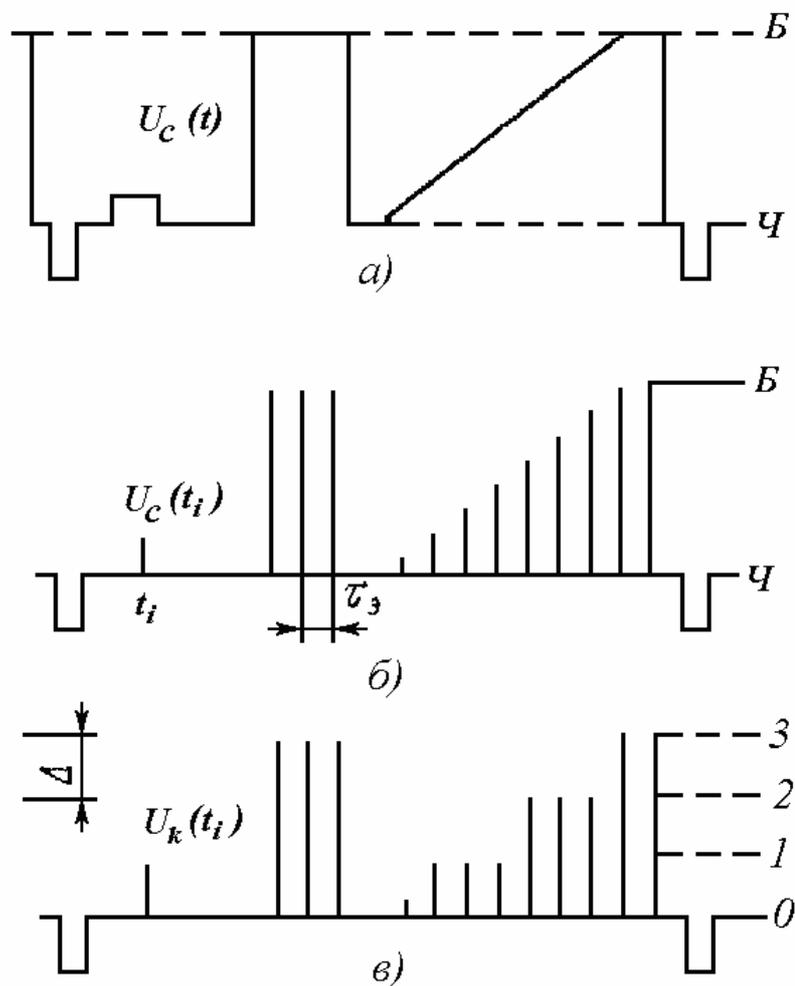


Рисунок 1.17 – Дискретизация аналогового видеосигнала (а) по времени (б), по времени и амплитуде (в)

Процесс дискретизации видеосигнала состоит в замене аналогового сигнала $U_c(t)$ (рисунок 1.17, а) совокупностью значений этого сигнала $U_c(t_i)$, следующих друг за другом (рисунок 1.17, б) с интервалом времени $\tau_3 = t_{i+1} - t_i$. Это означает, что на каждый элемент изображения приходится один отсчет видеосигнала. Так как $\tau_3 = 1/(2f_в)$, то частота дискретизации вдвое превышает верхнюю граничную частоту $f_в$ спектра видеосигнала и, следовательно, в соответствии с теоремой Котельникова исходная аналоговая форма сигнала может быть полностью восстановлена. Таким образом, при правильном выборе частоты дискретизации потеря информации в видеосигнале, представленном в дискретной форме, не

происходит. Отметим, что отсчет значения сигнала производится от уровня черного ($У$), соответствующего нулевой яркости изображения.

Дискретизированный во времени видеосигнал все еще сохраняет существенные признаки аналогового сигнала, так как каждый отсчет может принимать любое значение, а шкала значений отсчетов сигнала непрерывна. Для обработки такого сигнала требуются аналоговые операционные устройства, однако для их хранения можно применить дискретное либо цифровое запоминающее устройство.

Дискретизация видеосигнала по аргументу (т. е. во времени) является необходимым, но недостаточным шагом для преобразования его в цифровую форму. Следующим шагом является дискретизация значений отсчетов сигнала $U_c(t_i)$. Этот процесс называется квантованием. Квантование функции возможно, если все ее значения заключены в конечном интервале. В нашем случае (см. рисунок 1.17) все возможные значения сигнала изображения расположены в пределах интервала от уровня черного ($У$) до уровня белого ($Б$). При квантовании отсчетов сигнала (см. рисунок 1.17, в) его истинное значение $U_c(t_i)$ заменяется ближайшим квантованным значением:

$$U_k(t_i) = [U_c(t_i)/\Delta + 1/2] \cdot \Delta = n(t_i) \cdot \Delta, \quad (1.20)$$

где Δ - шаг квантования; n - целое число (0, 1, 2, ...), а знак $[]$ соответствует операции взятия целой части числа.

Число уровней квантования $m = |U_b - U_c|/\Delta + 1$, где U_b - уровень белого; U_c - уровень черного. Из сравнения осциллограмм дискретизированного и квантованного сигналов видно, что при квантовании в сигнал вносится ошибка ε , равная разности его истинного и квантованного значений: $\varepsilon(t_i) = U_c(t_i) - U_k(t_i)$.

Нетрудно заметить, что ошибка квантования $|\varepsilon| \leq \Delta/2$, т. е. не превышает по модулю половины шага квантования Δ , и, следовательно, может быть уменьшена путем увеличения числа уровней квантования. Таким образом, выбор числа уровней квантования m должен производиться с учетом возникающих при квантовании искажений видеосигнала.

Переход к цифровой форме видеосигнала осуществляется на основе выражения (1.20), из которого видно, что каждому квантованному значению сигнала U_k , соответствует целое число $0 \leq n \leq m-1$, являющееся цифровым описанием отсчета сигнала:

Физическим носителем цифровой информации является обычно цифровой двоичный код на выходе аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который производит дискретизацию (с тактовой частотой), квантование и кодирование видеосигнала (рисунок 1.18). Как правило, АЦП работает в синхронном режиме, когда частота дискретизации f_T жестко (кратно) связана с частотами строчной и кадровой разверток. Если

при этом соблюдается условие $f_T = 2f_{\text{с}} = 1/\tau_{\text{с}}$, то на каждый элемент изображения приходится один отсчет цифрового видеосигнала $n(t_i)$.

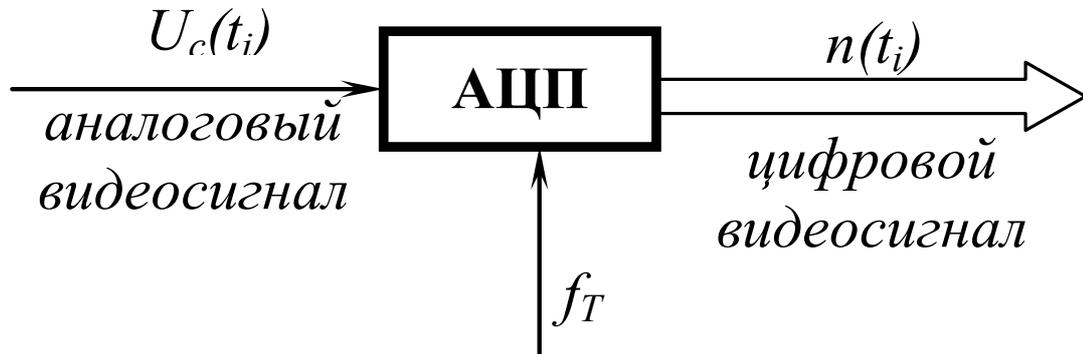


Рисунок 1.18 – Преобразование видеосигнала в цифровой код

$$n(t_i) = U_k(t_i) / \Delta \quad (1.21)$$

Кроме АЦП в составе устройства предварительной обработки видеосигнала должны быть представлены дополнительные аппаратные средства, обеспечивающие условия оптимального согласования параметров видеосигнала с параметрами АЦП независимо от содержания кадра [1].

Синхронный режим работы АЦП позволяет пронумеровать отсчеты цифрового видеосигнала в соответствии с позиционным положением элемента изображения в телевизионном растре и $n(t_i) = n(i, j)$, где i — номер элемента в строке; j — номер строки. Фактически номера i, j являются цифровыми координатами элемента изображения, которые в случае линейных разверток связаны с временными и геометрическими координатами соотношениями (1.11) и (1.12), где

$$t_x = (i-1/2)\tau_{\text{с}}, \quad (1.22)$$

Цифровые координаты i, j элемента изображения обычно представляются также в виде цифрового двоичного кода, имеющего для данного элемента индивидуальное значение.

Достоинства цифровой формы представления видеосигнала состоят в возможности цифровой обработки сигнала с применением современной элементной базы и средств вычислительной техники, количественной оценки объема обрабатываемой информации. Эффективности алгоритмов обработки, представления видеосигнала в виде двумерного массива $n(i, j)$, который однозначно описывает свойства входного двумерного изображения $E_{\text{из}}(X, Y)$ и к которому можно применить специфические для двумерных сигналов (изображений) способы обработки информации, например двумерную (пространственную) фильтрацию изображений. На двух последних моментах остановимся подробнее.

Таблица 1.7

Параметры цифрового видеосигнала	Соотношение	ГОСТ 7845-79
Цифровое значение отсчета видеосигнала	$n = [U_c/\Delta + 1/2]$	0...63
Номер элемента в строке	$i = 1 \dots, kz_{акт}$	1...767
Номер строки в кадре	$j = 1 \dots, z_{акт}$	1...575
Число уровней квантования видеосигнала	$m = U_б - U_ч /\Delta + 1$	64
Шаг квантования, В	$\Delta = U_б - U_ч /(m - 1)$	—
Частота дискретизации, МГц	$f_m = 2 f_в$	14.74
Длительность элемента разложения, мкс	$\tau_э = 1/f_m$	0.068
Информационная емкость: элемента изображения, бит кадра, бит	$I_э = \log_2 m$ $I_x = N \log_2 m$	6 $2.645 \cdot 10^6$
Информационная скорость ТВД, бит/с	$C = f_k N \log_2 m$	$66.125 \cdot 10^6$

Приступая к проектированию измерительного блока ВИИС, необходимо оценить объем и скорость поступления подлежащей обработке информации с тем, чтобы правильно выбрать алгоритм обработки, элементную базу, структуру устройства и оценить его быстродействие. Информационные свойства цифрового видеосигнала $n(i,j)$ определяются его информационной емкостью. Информационная емкость $I_э$ элемента изображения определяется числом разрядов двоичного кода, которым передается любой из m уровней квантования, и вычисляется по формуле $I_э = \log_2 m$. Для информационной емкости кадра I_x имеем $I_x = N \log_2 m$, где N — число элементов в кадре. Единицей информационной емкости бит. Информационная скорость ТВД оценивается максимальным количеством C информации (бит), передаваемой цифровым видеосигналом в единицу времени: $C = f_k N \log_2 m$. В таблице 1.7 приведены параметры цифрового видеосигнала, вычисленные применительно к вещательному стандарту. При анализе данных, включенных в таблицу 1.7, следует обратить внимание на огромную информационную емкость цифрового

видеосигнала, которая несоизмеримо больше информации об объекте, извлекаемой путем обработки видеосигнала, что свидетельствует о его избыточности.

Существенным для понимания принципов телевизионных измерений является также тот факт, что информационная емкость видеосигнала определяется только амплитудной (яркостной) информацией, а координатная информация как таковая не передается и представляет элемент структуры видеосигнала, обусловленной законом телевизионной развертки: координата любого элемента заранее известна и не зависит от содержания изображения.

Отсюда следует вывод о том, что координатная информация об объекте может и должна вычисляться на основе обработки совокупности амплитудных отсчетов всех элементов изображения. Пусть необходимо определить яркость и координаты единичного точечного (одноэлементного) объекта, находящегося в поле зрения ТВД. Предположим, что шумы в сигнале отсутствуют, цифровой отсчет амплитуды сигнала объекта n с равной вероятностью может принимать любое значение от 1 до $m - 1$ при отсутствии сигнала $n = 0$, появление объекта в любом из элементов изображения равновероятно.



Рисунок 1.19 – Информационный коэффициент передачи k_{uz}

Алгоритм работы измерительного блока состоит в последовательном измерении амплитуды цифровых отсчетов видеосигнала и выборе такого отсчета, для которого $n \neq 0$. Для этого отсчета фиксируются значения n, i, j . Количество извлеченной за время кадра из видеосигнала информации об объекте определяется по формуле

$$\begin{aligned} I_{об} &= \log_2(m-1) + \log_2(kz_{акт}) + \log_2 z_{акт} = \\ &= \log_2(m-1) + \log_2 N = \log_2[(m-1)N]. \end{aligned}$$

Для вещательного стандарта при $m = 64$ имеем $I_{об} = 24,73$ бит. На рисунке 1.19 измерительный блок представлен в виде некоторого информационного фильтра с информационным коэффициентом передачи, определяемом по формуле $k_{uz} = I_{об}/I_K = C_{об}/C$, где $C_{об}$ – информационная скорость измерительного блока, причем $C_{об} = f_k I_{об}$. Для рассмотренного примера $k_{uz} = 9,35 \times 10^{-6}$, т. е. является малой величиной. Это означает, что ТИС способна решать гораздо более сложные задачи, извлекая из большого объема входной информации значительно большее количество

полезной информации о сложных объектах или их совокупности, чем в приведенном примере.

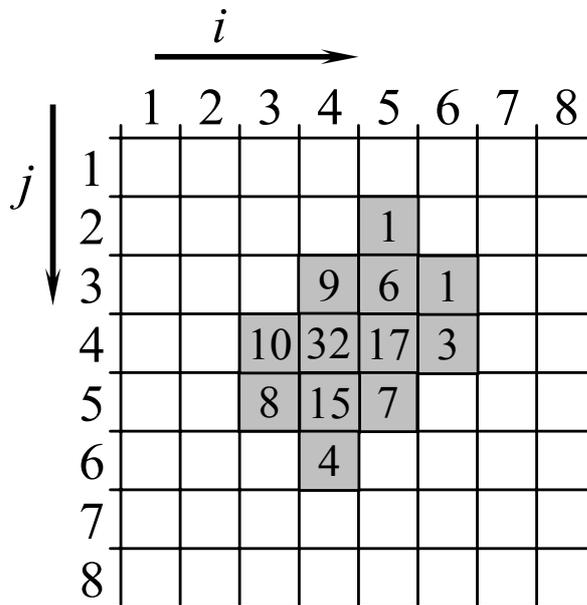


Рисунок 1.20 – Цифровое изображение объекта

Поясним это на примере вычисления цифровых коэффициентов «центра тяжести» объекта, которые можно считать координатами самого i_{Σ}, j_{Σ} объекта:

$$i_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{z_{акм}} \sum_{j=1}^{kz_{акм}} [n(i, j)i]}{\sum_{i=1}^{z_{акм}} \sum_{j=1}^{kz_{акм}} n(i, j)}, j_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{z_{акм}} \sum_{j=1}^{kz_{акм}} [n(i, j)j]}{\sum_{i=1}^{z_{акм}} \sum_{j=1}^{kz_{акм}} n(i, j)} \quad (1.23)$$

Под центром тяжести понимается центр энергии светового изображения объекта, поэтому выражение (1.23) справедливо при линейной ($\gamma = 1$) световой характеристике ФЭП. Расчет координат объекта по данным рисунка 1.20 дает следующий результат: $i_{\Sigma} = 4,186, j_{\Sigma} = 4,177$, отличающийся повышенной (до долей элемента разложения) точностью отсчета координаты. Достоверность полученного результата – предмет особого рассмотрения с учетом флуктуационных ошибок, а также ошибок дискретизации и квантования. Здесь же пока отметим, что распределение яркости по полю изображения объекта дает дополнительную информацию о его местоположении и позволяет увеличить точность определения координат по сравнению с точечным объектом, координаты которого определяются по единственному отсчету видеосигнала с точностью до элемента разложения.

Таблица 1.8

Цифровой параметр	Соотношение
Площадь	$S_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{z_{акм}} \sum_{i=1}^{kz_{акм}} n'(i, j), \text{ где}$ $n'(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{при } n(i, j) \neq 0, \\ 0 & \text{при } n(i, j) = 0 \end{cases}$
Линейные размеры: по горизонтали	$l_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{kz_{акм}} n'(i),$ $\text{где } n'(i) = \begin{cases} 1 & \text{при } n(i) \neq 0 \\ 0 & \text{при } n(i) = 0 \end{cases}, \quad n(i) = \sum_{j=1}^{z_{акм}} n(i, j)$
по вертикали	$h_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{z_{акм}} n'(j),$ $\text{где } n'(j) = \begin{cases} 1 & \text{при } n(j) \neq 0 \\ 0 & \text{при } n(j) = 0 \end{cases}, \quad n(j) = \sum_{i=1}^{kz_{акм}} n(i, j)$
Координаты	$X_{\Sigma} = i, Y_{\Sigma} = j$
Световой поток	$\Phi_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{z_{акм}} \sum_{i=1}^{kz_{акм}} n(i, j)$
Освещенность	$E_{\Sigma} = \Phi_{\Sigma} / S_{\Sigma}$
Координаты цвета в системе XYZ	$\begin{bmatrix} x_{\Sigma} \\ y_{\Sigma} \\ z_{\Sigma} \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^{z_{акм}} \sum_{i=1}^{kz_{акм}} \begin{bmatrix} n_x(i, j) \\ n_y(i, j) \\ n_z(i, j) \end{bmatrix}$

Стоит отметить, что точечный объект (т.е. объект угловыми размерами которого можно пренебречь при данных условиях наблюдения) создаёт изображение отличное от точечного. Изображение точечного объекта в плоскости анализа определяются исключительно весовой функцией оптической системы (объектива) и, как правило, занимает несколько элементов по горизонтали и по вертикали. Поэтому координаты точечного объекта могут быть вычислены по указанному выше алгоритму (1.23) с погрешностью, значительно меньшей пространственного периода элементов[15].

Основные алгоритмы телевизионных измерений приведены в таблице 1.8. Алгоритмы предназначены для измерения геометрических, энергетических и цветовых параметров протяженного объекта, находящегося в поле зрения ТВД.

Таблица 1.9

Параметр объекта	Соотношение
Площадь	$S = S_{\Sigma} l_p h_p / (NM^2)$
Линейные размеры	$l = l_{\Sigma} l_p / (kz_{акт} M), h = h_{\Sigma} h_p / (z_{акт} M)$
Координаты: по горизонтали	$X = \left[V_{px} \left(X_{\Sigma} - \frac{1}{2} \right) \tau_{\vartheta} - \frac{l_p}{2} \right] / M$
по вертикали	$Y = \left\{ V_{px} \left[(Y_{\Sigma} - 1) T_c + \left(X_{\Sigma} - \frac{1}{2} \right) \tau_{\vartheta} \right] + \frac{h_p}{2} \right\} / M$
Угловой размер	$\omega = 2 \arctg \left(\frac{l_{\Sigma} l_p}{2 f k z_{акт}} \right)$
Световой поток	$\Phi = \Phi_{\Sigma} K_{ТВД} (1 - M)^2 h_p^2 / (M^2 \tau \varepsilon^2 z_{акт}^2)$
Яркость	$L = \Phi_{\Sigma} K_{ТВД} (1 - M)^2 / (\pi \tau \varepsilon^2 S_{\Sigma})$
Освещенность	$E = \Phi_{\Sigma} K_{ТВД} (1 - M)^2 / (\rho \tau \varepsilon^2 S_{\Sigma})$
Сила света	$I = \Phi_{\Sigma} K_{ТВД} (1 - M)^2 h_p^2 / (\pi M^2 \tau \varepsilon^2 z_{акт}^2)$
Цветовые координаты в системе XYZ	$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \frac{K_{ТВД} (1 - M)^2 h_p^2}{56,7 M^2 \tau \varepsilon^2 z_{акт}^2} \begin{bmatrix} x_{\Sigma} \\ y_{\Sigma} \\ z_{\Sigma} \end{bmatrix}$

Пересчет цифрового параметра объекта в его значение, выраженное в соответствующих единицах измерения, производится по формулам таблицы. 1.9. Пересчет заключается, как правило, в масштабном преобразовании цифрового параметра, причем коэффициент масштабирования полностью определяется параметрами ТВД и его оптической системы. В дальнейшем с целью упрощения изложения материала не будем делать различия между параметром объекта p и его цифровым значением p_{Σ} в обозначении цифрового параметра индекс Σ в дальнейшем будем опускать.

1.6 Модель регистрирующей камеры

Соотношения между координатами точек сцены и их изображениями и методы оценивания параметров системы регистрации и трехмерной структуры сцены [5]. Различные точки пространства предметов отображаются оптической системой камеры в пространстве изображений на различных расстояниях от фокальной плоскости. Однако, если расстояние между камерой и наблюдаемой сценой значительно превышает фокусное расстояние оптической системы, можно считать, что изображение строится в ее фокальной плоскости. В этом случае можно воспользоваться проективной моделью камеры, в которой изображение трехмерного объекта получается проектированием его в фокальную плоскость (плоскость изображения) через единственную точку, называемую оптическим центром. Прямая линия, перпендикулярная плоскости изображения и проходящая через эту точку, называется оптической осью камеры, а точка пересечения оптической оси с плоскостью изображения – главной точкой.

Определим в трехмерном пространстве ортогональную правую систему координат $O_K X_K Y_K Z_K$, начало которой совпадает с оптическим центром, ось $O_K Z_K$ - с оптической осью камеры. Такая система называется стандартной системой координат камеры. Пусть плоскость изображения находится на расстоянии f' от оптического центра. В этой плоскости зададим систему координат $O_U X_U Y_U$ с началом в главной точке и осями $O_U X_U$ и $O_U Y_U$, параллельными осям $O_K X_K$ и $O_K Y_K$ соответственно (рисунок 1.21). Легко убедиться, что в стандартной системе координат проекцией точки трехмерного пространства M с координатами (X_K, Y_K, Z_K) является точка m в плоскости изображения с координатами $m(x_u, y_u)$, причем

$$x_u = f' \frac{X_K}{Z_K} \quad y_u = f' \frac{Y_K}{Z_K}.$$

Для полного описания камеры следует учесть, что для регистрации изображения в плоскости изображения камеры помещается ФЭП. В общем случае измерение координат в ФЭП осуществляется в единицах, отличных от единиц, задающих координаты в стандартной системе. Например, если используется матричный фотоприемник, его естественными координатами являются номер строки и номер столбца фотоприемной ячейки. Поэтому для полного описания камеры необходимо выразить координаты точки m в естественных единицах фотоприемника. В достаточно общем для любых фотоприемников виде (рисунок 1.21) это может выглядеть как

$$u = \frac{x_u}{p_x} + u_0, \quad v = -\frac{y_u}{p_y} + v_0,$$

где (u_0, v_0) - координаты главной точки относительно начала координат фотоприемника (в естественных координатах фотоприемника); p_x и p_y - масштабы вдоль осей $O_u X_u$ и $O_u Y_u$.

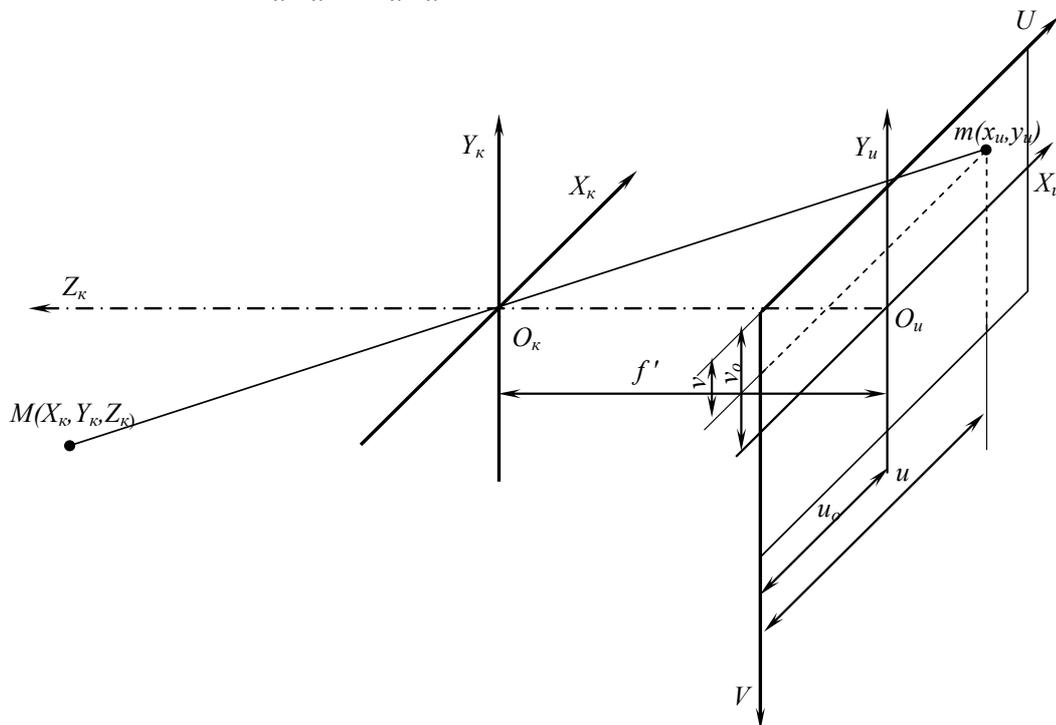


Рисунок 1.21 – Система координат проективной камеры

В новой системе координаты проекции точки m примут вид

$$u = f' \frac{X_k x_u}{p_x} + u_0, \quad v = -f' \frac{Y_k y_u}{p_y} + v_0. \quad (1.24)$$

Для последующего изложения введем трехмерный вектор $\mathbf{M} = (X_k, Y_k, Z_k)^T$, соответствующий точке M , и двумерный вектор $\mathbf{m} = (x_u, y_u)^T$, соответствующий точке m . Определим также вектор однородных внутренних координат камеры $\mathbf{v} = (u, v, 1)^T$. Используя эти обозначения, соотношения (1.24) можно представить в компактной векторно-матричной записи:

$$Z_k \mathbf{v} = \mathbf{A} \mathbf{M}, \quad (1.25)$$

где $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} f' / p_x & 0 & u_0 \\ 0 & f' / p_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ - матрица, известная под названием

матрицы внутренних параметров камеры, поскольку она содержит только параметры оптической системы и фотоприемника камеры.

В общем случае трехмерные координаты точки могут быть заданы в системе, не совпадающей со стандартной системой координат камеры $O_K X_K Y_K Z_K$. Пусть имеется глобальная (мировая) система координат $OXYZ$, а $O_K X_K Y_K Z_K$ - стандартная система координат камеры. Переход от системы $OXYZ$ к системе $O_K X_K Y_K Z_K$ можно осуществить поворотом координатных осей к некоторой промежуточной системе координат и последующим смещением начала координат. Тогда связь между координатами точки M в глобальной и стандартной системе может быть представлена как

$$\mathbf{M} = \mathbf{R}\mathbf{M}' + \mathbf{T}, \quad (1.26)$$

где \mathbf{M}' и \mathbf{M} - векторы пространственных координат точки M в глобальной и стандартной системах, соответственно; \mathbf{R} - матрица размерности 3×3 , описывающая поворот стандартной системы координат относительно глобальной; компонентами матрицы являются направляющие косинусы осей глобальной системы в стандартной системе координат; \mathbf{T} - трехмерный вектор смещения начала координат глобальной системы относительно начала координат стандартной.

На рисунке 1.22 схематически показано преобразование координат выражение для матрицы поворота \mathbf{R} имеет вид:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\psi \cos\theta & \cos\psi \sin\theta \sin\varphi + \sin\psi \cos\varphi & \cos\psi \sin\theta \cos\varphi + \sin\psi \sin\varphi \\ \sin\psi \cos\theta & \sin\psi \sin\theta \sin\varphi - \cos\psi \cos\varphi & \sin\psi \sin\theta \cos\varphi - \cos\psi \sin\varphi \\ -\sin\theta & \cos\theta \sin\varphi & \cos\theta \cos\varphi \end{bmatrix}, \quad (1.27)$$

где ψ, θ, φ соответствующие эйлеровские поворота для левой системы координат.

Смысл вектора $\mathbf{T} = (t_x, t_y, t_z)^T$ вектор переноса.

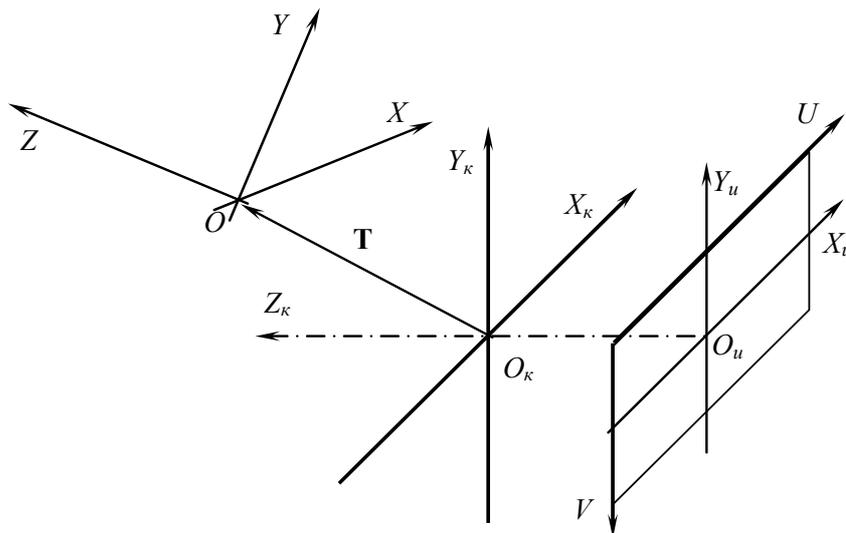


Рисунок 1.22 – Переход от глобальной системы координат к стандартной системе координат камеры

1.7 Стереоскопическая система

Рассмотрим ситуацию, когда две камеры, находящиеся в разных точках, регистрируют одну и ту же сцену. Пара изображений, получаемых при этом, называется стереопарой. Обратимся сначала к простейшему случаю. Пусть одинаковые камеры расположены так, что их оптические оси параллельны, а прямая, проходящая через оптические центры, перпендикулярна оптическим осям (эта прямая называется базовой линией, а ее отрезок, заключенный между оптическими центрами – базой). Положим длину базы равной b . Выберем такую глобальную систему координат, начало которой O расположено на базовой линии посередине между оптическими центрами камер, ось OZ параллельна оптическим осям, а ось OX направлена вдоль базовой линии (рисунок 1.23).

Пусть начала координат в плоскостях изображений камер совпадают с главными точками ($u_0 = v_0 = 0$), а единицы измерения координат в глобальной системе и в плоскостях изображения камер одинаковы ($p_x = p_y = 1$).

Выберем точку M с глобальными координатами (X, Y, Z) . Координаты ее проекции в плоскости изображения первой (левой) камеры обозначим через (x'_u, y'_u) , а в плоскости изображения второй (правой) камеры – через (x''_u, y''_u) . (Проекции одной и той же точки M в плоскостях изображений разных камер называются сопряженными точками.) Нетрудно проверить, что

$$x'_u = f(X + b/2)/Z, \quad x''_u = f(X - b/2)/Z, \quad y'_u = y''_u = fY/Z.$$

Заметим, что в направлении, перпендикулярном направлению базовой линии, координаты сопряженных точек (y -координаты) совпадают. Это обстоятельство имеет большое значение при автоматизированном поиске сопряженных точек на стереопаре, позволяя существенно сократить размеры зоны поиска. Из первых двух соотношений следует, что

$$Z = bf' / (x'_u - x''_u). \quad (1.28)$$

Это означает, что, зная геометрию съемки и выполнив измерения координат проекций одной и той же точки в плоскостях изображения камер, можно вычислить глубину (координату Z) этой точки.

Полученные соотношения позволяют вычислить полностью трехмерные координаты точки:

$$X = b \frac{(x'_u + x''_u)}{2(x'_u - x''_u)}, \quad Y = b \frac{(y'_u + y''_u)}{2(x'_u - x''_u)}. \quad (1.29)$$

Разность $d = x'_u - x''_u$ называется диспарантностью. Из (1.28) и (1.29) следует, что ошибки в координатах проекций сильнее сказываются при малой диспарантности и, следовательно, расстояния до далеких объектов измеряются менее точно, чем до близких. С другой стороны, при фиксированной дальности диспарантность пропорциональна размеру базы, следовательно, точность измерений повышается с увеличением базы.

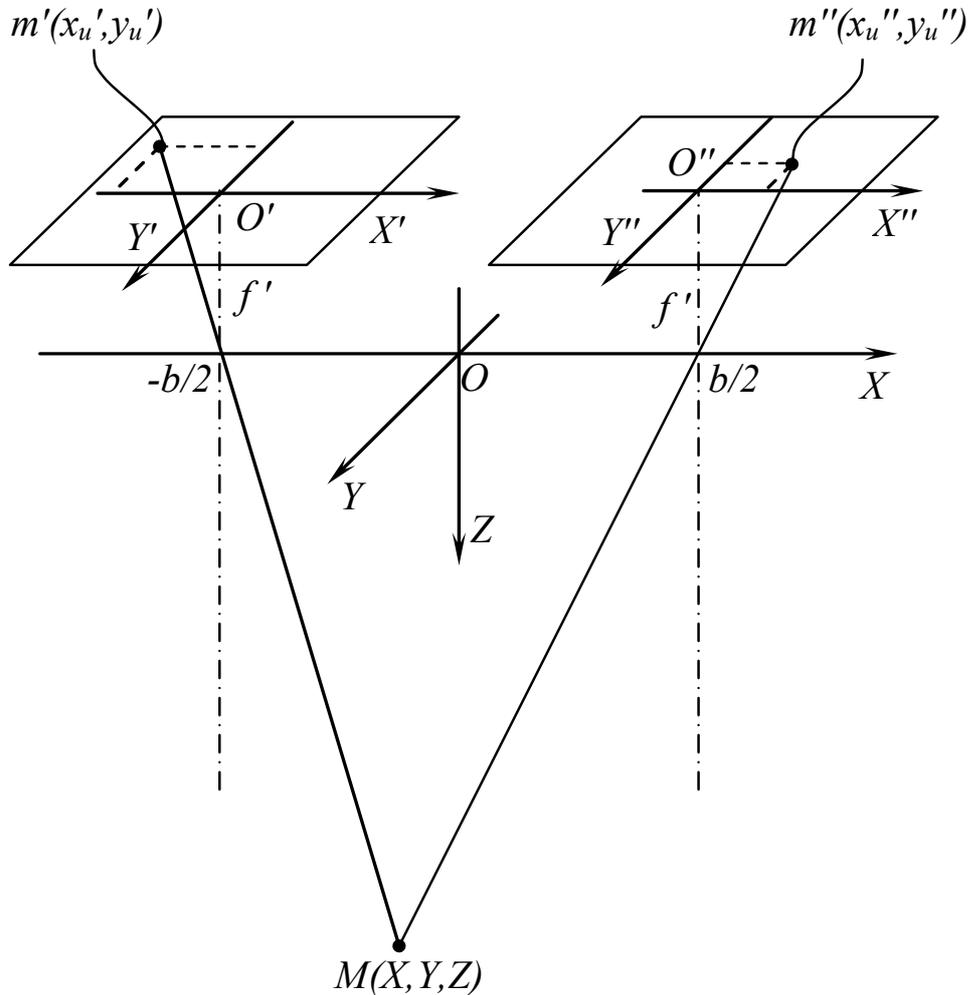


Рисунок 1.23 – Простейшая стереоскопическая система

Однако увеличение базы может привести к ошибкам, которые не компенсируются увеличением точности измерений.

Теперь рассмотрим общий случай, когда оптические оси камер не параллельны, и направление смещения оптического центра одной камеры относительно оптического центра другой произвольно (рисунок 1.24). Введем для каждой камеры свою стандартную систему координат. Пусть первой камере соответствует система координат $O'X'Y'Z'$, а второй – $O''X''Y''Z''$ (рисунок 1.24).

Пусть вектор $\mathbf{M}' = (X', Y', Z')^T$ характеризует координаты некоторой точки M трехмерного пространства в системе первой камеры, а

вектор $\mathbf{M}''(X'', Y'', Z'')^T$ - в системе второй. Переход от глобальной системы координат к стандартным системам первой и второй камер осуществляется с помощью преобразований $\mathbf{M}' = \mathbf{R}'\mathbf{M} + \mathbf{T}'$ и $\mathbf{M}'' = \mathbf{R}''\mathbf{M} + \mathbf{T}''$ соответственно. Учитывая это, легко показать, что связь между векторами \mathbf{M}' и \mathbf{M}'' задается соотношением

$$\mathbf{M}'' = \mathbf{R}\mathbf{M}' + \mathbf{T} \quad (1.30)$$

где $\mathbf{R} = \mathbf{R}''\mathbf{R}'^T$ - ортогональная матрица, описывающая ориентацию системы координат второй камеры относительно первой, а $\mathbf{T} = -\mathbf{R}''\mathbf{R}'^T\mathbf{T}'' + \mathbf{T}'$ - вектор трансляции, определяющий положение оптического центра второй камеры в системе координат первой. Матрицу \mathbf{R} и вектор \mathbf{T} принято называть внешними параметрами системы регистрации.

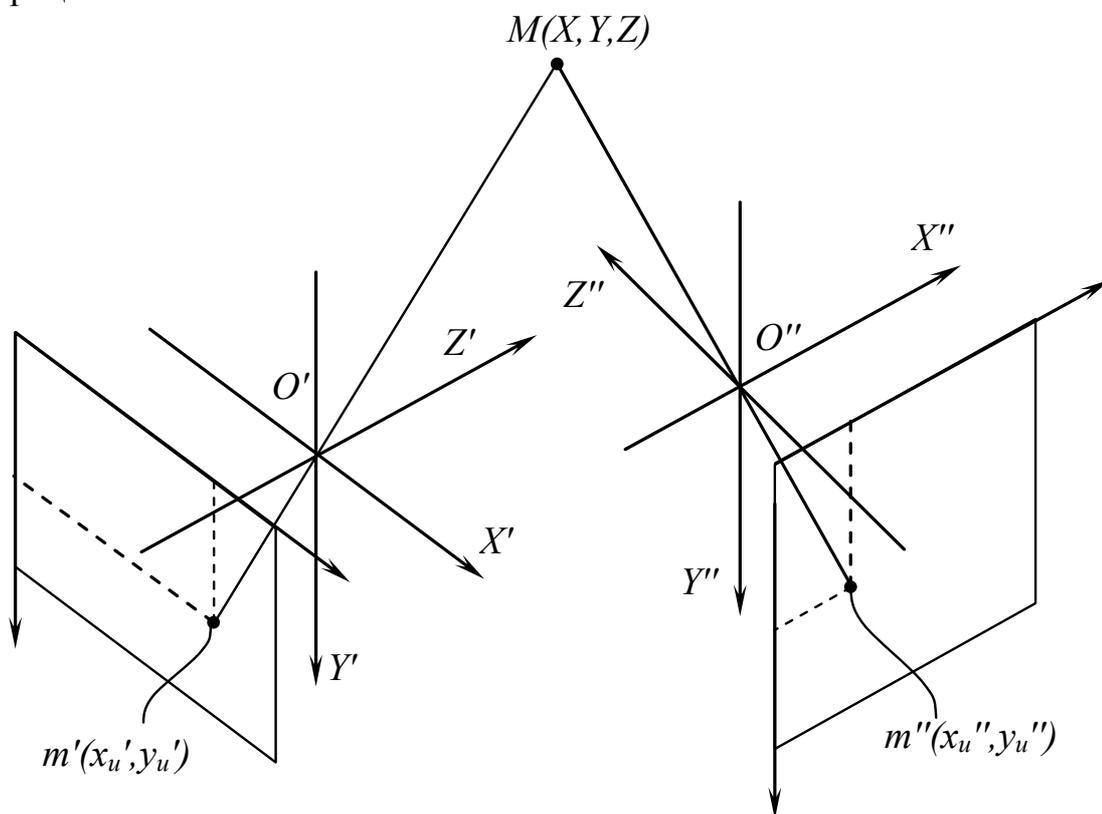


Рисунок 1.24 – Система двух произвольно ориентированных камер

Используя (1.25) из (1.30) можно получить соотношение, связывающее координаты сопряженных точек (в координатах фотоприемника):

$$Z''\mathbf{A}_2^{-1}\mathbf{v}'' = Z'\mathbf{R}\mathbf{A}_1^{-1}\mathbf{v}' + \mathbf{T}, \quad (1.31)$$

где (см. (1.25)) $\mathbf{v}' = \mathbf{A}_1\mathbf{M}'/Z'$, $\mathbf{v}'' = \mathbf{A}_2\mathbf{M}''/Z''$.

(Предполагается, что регистрация может выполняться двумя различными камерами, внутренние параметры которых определяются матрицами \mathbf{A}_1 и \mathbf{A}_2).

Уравнения (1.30) и (1.25) позволяют оценить трехмерные координаты точки M в системе координат любой из камер, если известны внешние параметры системы камер и удастся измерить координаты изображений этой точки в плоскостях изображения камер (т.е. оценить векторы \mathbf{v}' и \mathbf{v}''). Поскольку компоненты векторов \mathbf{v}' и \mathbf{v}'' могут содержать ошибки, реально соотношение (1.31) принимает вид:

$$Z''\mathbf{A}_2^{-1}\mathbf{v}'' - Z'\mathbf{R}\mathbf{A}_1^{-1}\mathbf{v}' - \mathbf{T} = \mathbf{e}$$

где \mathbf{e} - вектор невязки, обусловленный наличием ошибок измерений.

Учитывая это, для оценивания неизвестных Z' и Z'' можно воспользоваться методом наименьших квадратов (МНК), суть которого состоит в том, чтобы найти такие оценки Z' и Z'' , которые бы минимизировали сумму квадратов компонент (норму) вектора невязки: $J_1(Z', Z'') = \mathbf{e}^T \mathbf{e}$. Приравнявая частные производные J_1 по Z' и Z'' нулю (условие достижения экстремума) получим систему, состоящую из двух скалярных уравнений

$$\left. \begin{aligned} Z'\mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{v}' - Z'\mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{R}^T \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{v}'' + \mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{R}^T \mathbf{T} &= 0 \\ -Z'\mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{R}^T \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{v}'' + Z''\mathbf{v}''^T \mathbf{A}_2^{-T} \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{v}'' - \mathbf{v}''^T \mathbf{A}_2^{-T} \mathbf{T} &= 0 \end{aligned} \right\},$$

разрешая которую относительно Z' и Z'' получим

$$\begin{bmatrix} Z' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{v}' & -\mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{R}^T \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{v}'' \\ -\mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{R}^T \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{v}'' & \mathbf{v}''^T \mathbf{A}_2^{-T} \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{v}'' \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\mathbf{v}'^T \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{R}^T \mathbf{T} \\ \mathbf{v}''^T \mathbf{A}_2^{-T} \mathbf{T} \end{bmatrix}$$

Теперь, используя (1.25), можно вычислить вектор трехмерных координат точки M в системе любой из камер:

$$\mathbf{M}' = Z'\mathbf{A}_1^{-1}\mathbf{v}', \quad \mathbf{M}'' = Z''\mathbf{A}_2^{-1}\mathbf{v}'' \quad (1.32)$$

Из всего изложенного выше следует, что для оценивания трехмерных координат некоторой точки по стереопаре необходимо: а) знать внутренние параметры камер (задача калибровки), б) знать параметры взаимного расположения камер (задача взаимного ориентирования), в) найти и определить на изображениях координаты соответствующих данной точке сопряженных точек (задача поиска сопряженных точек).

1.8 Алгоритм работы ВИИС контроля линейных смещений

Рассмотрим алгоритм работы ВИИС контроля линейных смещений с базой на объекте. В качестве приемника оптического излучения

используется матричный фотоприемник ПЗС, следует не забывать о том, что фотоприемник ПЗС имеет матричную структуру с конечными размерами фоточувствительных элементов и промежутками нечувствительности между ними. Роль контрольно элемента (КЭ) играет пара полупроводниковых излучающих диодов (точечных объектов), расстояние между которыми и образует базу в пространстве предметов.

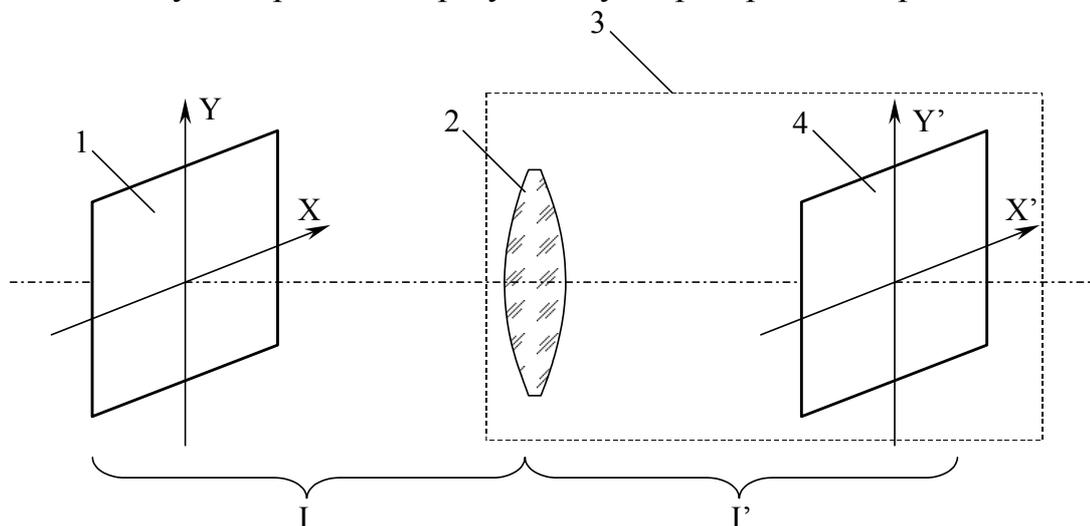


Рисунок 1.24 – Общая схема оптической части измерительного канала РОЭС

Общая схема оптической части ВИИС представлена на рисунке 1.24. Основными элементами задатчика измерительной базы 3 являются приемник оптического излучения 4 и объектив 2. С контролируемым объектом связывается контрольный элемент 1.

Рассмотрим коллимационный вариант реализации оптической части измерительного канала и метод определения координат контрольного элемента, т.к. полученные выкладки будут иметь место и в других случаях реализации оптической части измерительного канала, за исключением не существенных или легко вносимых дополнений.

Очевидно, что координаты контрольного элемента 1, жестко связанного с объектом x и y однозначно, связаны с координатами его изображения в плоскости анализа x' и y' :

$$x = x' \left(\frac{L}{f} - 1 \right), \quad (1.33)$$

$$y = y' \left(\frac{L}{f} - 1 \right), \quad (1.34)$$

где L – расстояние от контрольного элемента до объектива, f – фокусное расстояние объектива системы.

В рассмотренном примере присутствует коэффициент $\left(\frac{L}{f} - 1\right)$, который мешает реализовать автоматически калибрующуюся измерительную систему, без введения в нее дополнительных устройств изменения дистанций до КЭ. Фокусное расстояние системы меняется редко, однако дистанция от КЭ до измерительного блока может изменяться в широких пределах, что необходимо учитывать в процессе измерения смещений во избежание возрастания погрешности измерений или получения неверных результатов.

Для создания измерительной системы адаптивной к изменению дистанции необходимо иметь априорную информацию о расстоянии между измерительным блоком и КЭ, либо иметь некоторый эталон смещения КЭ. Реализация первого метода требует введения в измерительную систему дополнительного канала измерения дистанций, например, дальномера, что не всегда удобно. Второй метод реализовать проще, например, используя КЭ в виде пары точечных источников, расстояние между которыми известно с большой точностью, или может быть выяснено в процессе юстировки системы. Рассмотрим более подробно второй метод.

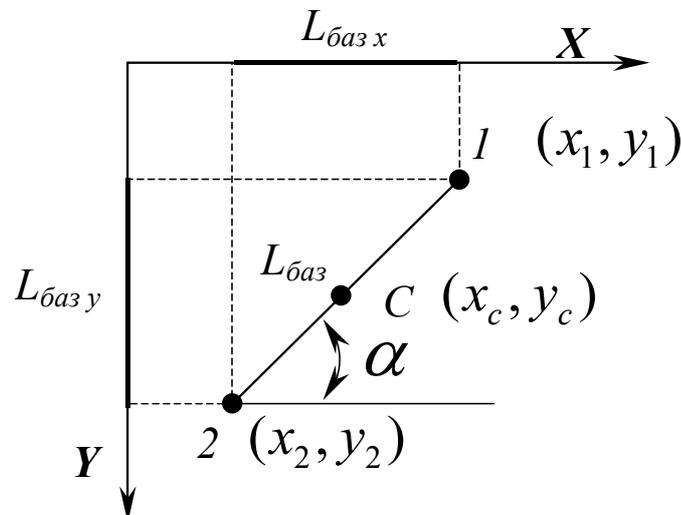


Рисунок 1.25 – Система координат в пространстве предметов

Пусть КЭ состоит из двух точечных объектов таких, что в момент измерения виден только один из них, что легко реализуется парой управляемых полупроводниковых излучающих диодов (ПВД), при этом расстояние между ними $L'_{баз}$ в пространстве предметов известно с высокой точностью. В этом случае за координаты КЭ в пространстве предметов можно принимать, координаты первого (x_1, y_1) , второго (x_2, y_2) ПВД или координаты середины отрезка (x_c, y_c) , соединяющего их (рисунок 1.25).

Координаты центра отрезка x_c и y_c определяются соотношениями:

$$x_c = \frac{x_1 + x_2}{2}, \quad (1.35)$$

$$y_c = \frac{y_1 + y_2}{2}. \quad (1.36)$$

Координаты центра отрезка в пространстве изображений будут иметь подобный вид:

$$x'_c = \frac{x'_1 + x'_2}{2}, \quad (1.37)$$

$$y'_c = \frac{y'_1 + y'_2}{2}. \quad (1.38)$$

Поставляя выражения (1.37) и (1.38) в (1.33), (1.34) получаем:

$$x_c = \frac{x'_1 + x'_2}{2} \left(\frac{L}{f} - 1 \right), \quad (1.39)$$

$$y_c = \frac{y'_1 + y'_2}{2} \left(\frac{L}{f} - 1 \right). \quad (1.40)$$

Далее рассмотрим соотношение между базой $L_{\bar{\sigma}az}$ и её изображением $L'_{\bar{\sigma}az}$ в пространстве изображений, очевидно, что они связаны подобным соотношением:

$$L_{\bar{\sigma}az} = L'_{\bar{\sigma}az} \left(\frac{L}{f} - 1 \right), \quad (1.41)$$

причем

$$L'_{\bar{\sigma}az} = \sqrt{(x'_1 - x'_2)^2 + (y'_1 - y'_2)^2}. \quad (1.42)$$

Таким образом, из (1.41) и (1.42) имеем:

$$\left(\frac{L}{f} - 1 \right) = \frac{L_{\bar{\sigma}az}}{\sqrt{(x'_1 - x'_2)^2 + (y'_1 - y'_2)^2}}. \quad (1.43)$$

Из (1.43) видно, что значение соотношения $\left(\frac{L}{f} - 1 \right)$ можно вычислить в процессе измерений без введения дополнительно канала измерения дистанций, т.к. $L_{\bar{\sigma}az}$ известно до начала измерений с высокой точностью, а значение $L'_{\bar{\sigma}az}$ вычисляется из соотношения (1.42) в процессе измерений координат точечных объектов, входящих в состав КЭ.

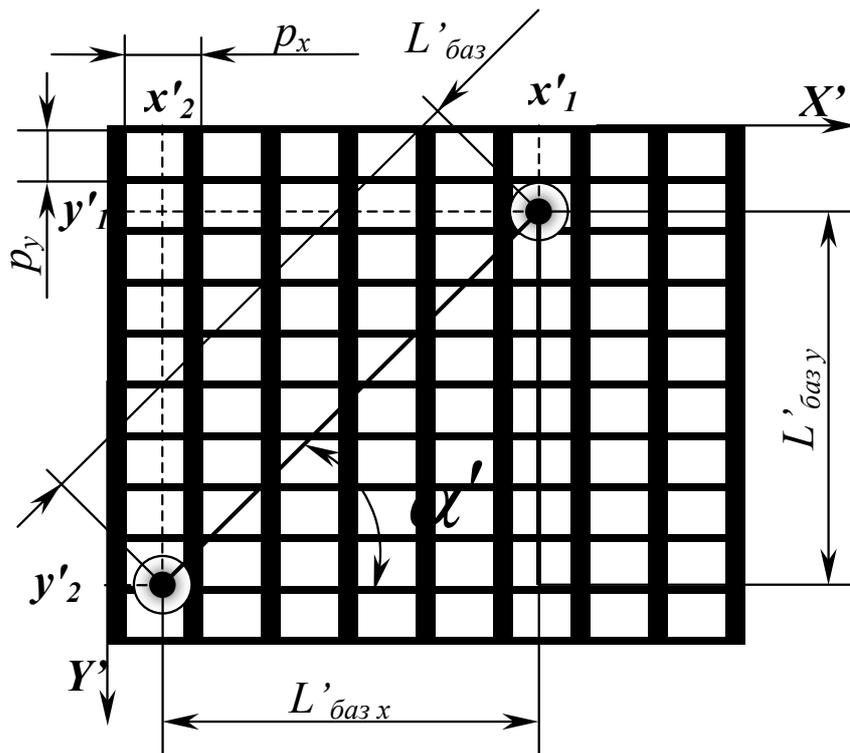


Рисунок 1.26 – Схема наложения системы координат плоскости анализа на матричную структуру

В рассматриваемой системе в качестве приемника оптического излучения используется матричный фотоприемник на основе ПЗС структур, рассмотрим процесс восстановления координат изображения сформированного данным приёмником. На рисунке 1.26 схематично изображено наложение системы координат плоскости анализа на матричную структуру, имеющую как участки чувствительные к электромагнитному излучению (пиксель или элемент разложения), так и зоны не чувствительности.

На рисунке 1.24 (x'_1, y'_1) и (x'_2, y'_2) – координаты центров изображений точечных объектов, входящих в состав КЭ или другими словами изображений марок. $L'_{баз}$ – сформированная измерительная база, $L'_{баз x}$ и $L'_{баз y}$ – проекции измерительной базы на координатные оси X и Y , соответственно. α - угол между измерительной базой и координатной осью X , а p_x – горизонтальный размер фоточувствительной площадки одного элемента матричного приемника с включенной зоной не чувствительности, расположенной слева от него, p_y – вертикальный размер фоточувствительной площадки одного элемента матричного приемника с включенной зоной не чувствительности, расположенной снизу от него. После процедуры цифрового кодирования видео сигнал, снимаемый с ПЗС, записывается в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) блока, выполняющего обработку полученной измерительной картины, с целью извлечения координат центров изображений марок. На рисунке 1.27

изображен вид условной системы координат, связанной с изображением марок, находящимся в ОЗУ.

Здесь (рисунок 1.27) $(x_{1 ПЗС}, y_{1 ПЗС})$ и $(x_{2 ПЗС}, y_{2 ПЗС})$ вычисленные по некоторому алгоритму координаты, например, методом центра тяжести, первой и второй марок, соответственно. $L_{баз ПЗС}$ – сформированная измерительная база, $L_{баз x ПЗС}$ и $L_{баз y ПЗС}$ – проекции измерительной базы на координатные оси $X_{ПЗС}$ и $Y_{ПЗС}$, соответственно; $\alpha_{ПЗС}$ – угол между измерительной базой и координатной осью $X_{ПЗС}$.

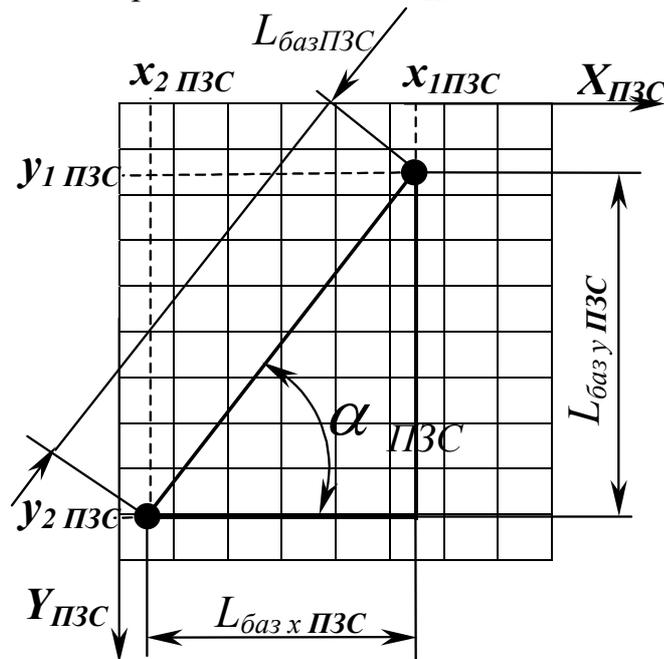


Рисунок 1.27 – Условная система координат, связанная с изображением марок, находящимся в ОЗУ

После выполнения цифрового кодирования видеокadra, сформированного ПЗС приемником, и записи его в ОЗУ, теряется информация о размерах горизонтальных и вертикальных размерах элемента разложения p_x и p_y , что приводит к линейным искажениям, в связи с этим необходимо проводить процедуру восстановления координат, очевидно, что координаты в плоскости анализа связаны с условными координатами соотношением [3]:

$$\begin{aligned} x'_1 &= p_x \times x_{1 ПЗС}, \quad y'_1 = p_y \times y_{1 ПЗС}, \\ x'_2 &= p_x \times x_{2 ПЗС}, \quad y'_2 = p_y \times y_{2 ПЗС}. \end{aligned} \quad (1.44)$$

В результате, из сказанного выше соотношение 1.33 принимает вид:

$$\left(\frac{L}{f} - 1 \right) = \frac{L_{баз}}{\sqrt{p_x^2 (x_{1 ПЗС} - x_{2 ПЗС})^2 + p_y^2 (y_{1 ПЗС} - y_{2 ПЗС})^2}}, \quad (1.45)$$

при этом стоит отметить, что $L_{баз}$ известный параметр, значения $x_{1ПЗС}$, $y_{1ПЗС}$, $x_{2ПЗС}$, $y_{2ПЗС}$ определяются в результате измерения, а коэффициенты p_x и p_y определяются исходя, из параметров ПЗС приемника и уточняются в процессе юстировки системы. Таким образом, осуществляется автокалибровка измерительной системы, производится отвязка от расстояния до КЭ и фокусного расстояния объектива системы.

Подставляя значение для $\left(\frac{L}{f} - 1\right)$ из выражения (1.45) в соотношения (1.33) и (1.34) и учитывая соотношения (1.44), получаем зависимости, связывающие координаты марок КЭ в пространстве изображений, с координатами из изображений сформированными матричным приемником:

$$x = \frac{x_{ПЗС} L_{баз}}{(x_{1ПЗС} - x_{2ПЗС}) \sqrt{1 + M_{yx}^2 \left(\frac{y_{1ПЗС} - y_{2ПЗС}}{x_{1ПЗС} - x_{2ПЗС}}\right)^2}},$$

$$y = \frac{y_{ПЗС} L_{баз}}{(y_{1ПЗС} - y_{2ПЗС}) \sqrt{1 + \frac{1}{M_{yx}^2} \left(\frac{x_{1ПЗС} - x_{2ПЗС}}{y_{1ПЗС} - y_{2ПЗС}}\right)^2}}.$$

где $M_{yx} = p_y / p_x$, таким образом, если при измерениях не будет происходить скручивания, при которых изображения марок будут находиться на одной вертикальной или горизонтальной прямой, то в расчетах удобнее использовать вариант с параметром M_{yx} , этот параметр легко определяется из характеристик матрицы и уточняется в процессе калибровки системы.

1.9 Источники погрешности в ВИИС

Основной характеристикой ВИИС является погрешность измерения параметра объекта. Погрешность характеризует отличие измеренного значения от действительного значения параметра, измеряемого образцовым прибором.

Погрешность измерения в телевизионной измерительной системе характеризуется абсолютной Δ , $\delta_{от}$, и приведенной погрешностями δ :

$$\Delta = x_u - x_\delta; \delta_{от} = \Delta \times 100 / x_\delta; \delta = \Delta \times 100 / (x_{max} - x_{min}),$$

где x_δ – действительное значение измеряемой величины; x_u – измеренное значение; x_{max} , x_{min} – предельные значение измеряемой величины.

По закономерности появления погрешности можно разделить на систематические $\Delta_{си}$ и случайные $\Delta_{сл}$. Результирующая погрешность может быть определена как сумма систематической и случайной составляющих $\Delta = \Delta_{си} + \Delta_{сл}$.

Систематической погрешностью называют составляющую погрешности измерения, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Систематическую составляющую погрешности можно учесть. Случайными называют составляющие погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом.

В зависимости от скорости изменения измеряемой величины различают статическую и динамическую погрешности. Статическая погрешность возникает при измерении постоянной во времени величины. В реальных условиях измеряемая величина не остается постоянной. Если скорость изменения настолько мала, что инерциальные свойства средства измерения не проявляются, то такие измерения можно считать статическими и полностью характеризовать статической погрешностью. Если скорость измеряемой величины, такова, что проявляются инерционные свойства средства измерений, то общая погрешность, называемая погрешностью в динамическом режиме, превышает статическую погрешность. Разность между погрешностью в динамическом режиме и статической погрешностью называют динамической погрешностью средства измерения [16].

В качестве источников погрешностей в ВИИС можно выделить погрешности, вносимые *оптической системой*. Любая оптическая система вносит геометрические искажения, при которых изображение различных частей предмета происходит с различным увеличением, например, при дисторсии нарушается геометрическое подобие между объектом и его изображением.

В ТВД на основе приборов с зарядовой связью источники помех можно условно разбить на две группы: детерминированные помехи и флуктуационные. К детерминированным можно отнести *коммутационные помехи* (наводки от импульсных напряжений на электродах матрицы) и *геометрического шума* (неоднородностей темнового тока, чувствительности элементов матрицы и технологическими погрешностями, дискретностью раstra фотоприемного устройства).

К флуктуационным источникам относят: [18] *шумы переноса*, возникающие из-за случайного характера захвата и освобождения ловушками носителей заряда при переносе; *шумы генерации фонового и темнового зарядов*; *шумы электрической инжекции*; *шумы выходного каскада*.

Дополнительными источниками погрешности в телевизионных измерительных системах выступают звенья осуществляющие обработку полученного видеосигнала, к ним можно отнести шумы усилительного тракта; погрешности квантования видеосигнала при цифровом кодировании сигнала.

Также источником погрешностей служит метод обработки полученного видеосигнала. При цифровой обработке также нужно учитывать погрешность, вносимую ограниченной разрядностью цифрового вычислительного устройства.

Одним из эффективных методов оценки влияющих факторов на метрологические характеристики разрабатываемой системы, является методы компьютерного моделирования [2].

1.10 Модели описания цветовых пространств

Линейные цветовые пространства

Если рассматривать глаз в качестве прибора, регистрирующего оптическое излучение, то цвет он определяет при помощи трёх видов приёмных элементов (колбочек), чувствительных к излучению в разных областях видимого спектра. По аналогии описывается устройство цветных оптико-электронных приёмников оптического излучения. Следовательно, для того, чтобы ОЭ прибор определил цвет адекватно человеку, он должен определить такие коэффициенты к сигналам со своих чувствительных элементов, чтобы суммарная реакция была тождественна реакции к суммарному сигналу восприятия этого цвета человеческим глазом.

Для однозначного описания законов подбора цветов необходимо сформулировать следующие условия:

- должно быть разрешено разностное сопоставление,
- основные цвета должны быть независимыми, т.е. никакая комбинация двух основных цветов не должна давать третий основной цвет (принцип трёхцветности). Данное явление объясняется тем, что, по данным экспериментов, глаз, как прибор восприятия цветных параметров объектов, воспринимает свет трёх типов.

При описанных условиях подбор пары, в достаточно точном приближении, является линейным. Этот процесс описывают представленные ниже законы Грассмана.

Во-первых, если смешать два тестовых цвета, смесь их пар будет парой к полученному цвету – т.е. если

$$T_a = \omega_{a1}P_1 + \omega_{a2}P_2 + \omega_{a3}P_3$$

и

$$T_b = \omega_{b1}P_1 + \omega_{b2}P_2 + \omega_{b3}P_3,$$

то

$$T_a + T_b = (\omega_{a1} + \omega_{b1})P_1 + (\omega_{a2} + \omega_{b2})P_2 + (\omega_{a3} + \omega_{b3})P_3$$

где ω – весовой коэффициент подбора; P_1, P_2, P_3 – набор основных цветов; T_a и T_b – тестовые цвета.

Во-вторых, если для двух тестовых цветов можно найти пары с одинаковыми весовыми коэффициентами, то эти цвета являются парой друг для друга, т.е. если

$$T_a = \omega_1 P_1 + \omega_2 P_2 + \omega_3 P_3$$

и

$$T_b = \omega_1 P_1 + \omega_2 P_2 + \omega_3 P_3$$

то

$$T_a = T_b.$$

В-третьих, подбор пары является линейным: если

$$T_a = \omega_1 P_1 + \omega_2 P_2 + \omega_3 P_3$$

тогда

$$kT_a = (k\omega_1)P_1 + (k\omega_2)P_2 + (k\omega_3)P_3$$

для любого неотрицательного коэффициента k . [40, 41]

Если цвета смешиваются линейно, можно построить простой алгоритм определения весовых коэффициентов смеси основных цветов из данного фиксированного набора. Спектральное излучение источника можно считать взвешенной суммой излучений отдельных источников, причём каждый источник излучает свет с единственной длиной волны. Поскольку операция подбора цвета линейна, комбинацию основных цветов, которая образует пару к взвешенной сумме отдельных источников, излучающих на одной длине волны, можно получить, подбирая цвета к каждому отдельному источнику, а затем суммируя эти весовые коэффициенты.

Если есть весовые коэффициенты всех основных цветов, определяющие пару для каждого отдельного источника (набор функций подбора цвета), то можно найти весовые коэффициенты цветовой пары для произвольного спектрального излучения. Функции подбора цвета $f_1(\lambda)$, $f_2(\lambda)$ и $f_3(\lambda)$ получаются из набора основных цветов P_1, P_2 и P_3 на основе эксперимента. Следовательно, чтобы найти пару, например, для отдельного источника излучения $U(\lambda)$, подбирается весовой коэффициент каждого основного цвета. Этот процесс можно записать как

$$U(\lambda) = f_1(\lambda) \cdot P_1 + f_2(\lambda) \cdot P_2 + f_3(\lambda) \cdot P_3$$

В случае если источник $S(\lambda)$ – это сумма огромного количества источников, излучающих на своей длине волны с определённой интенсивностью, то пара $T(\lambda)$ к основным цветам его рассчитывается по формуле:

$$T(\lambda) = \omega_1 \cdot P_1 + \omega_2 \cdot P_2 + \omega_3 \cdot P_3 =$$

$$= \left\{ \int_{\lambda} f_1(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda \right\} P_1 + \left\{ \int_{\lambda} f_2(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda \right\} P_2 + \left\{ \int_{\lambda} f_3(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda \right\} P_3$$

Т.о. с помощью законов Грассмана и функций подбора цвета описываются все линейные цветовые пространства.

1.10.1 Цветовое пространство RGB

Цветные приёмники оптического излучения работают в линейном трёхцветном пространстве RGB, которое обусловлено особенностями конструкции цветных оптико-электронных приёмников оптического излучения, в котором для каждого основного цвета формально определена длина волны 645,16 нм для красного, 526,32 нм для зелёного и 444,44 нм для синего. Неформально в пространстве RGB используются все цвета, какие могут появиться на экране в качестве основных. Имеющиеся цвета обычно можно представить единичным RGB-кубом (рисунок 1.27), грани которого соответствуют весовым коэффициентам красного, зелёного и синего цвета.

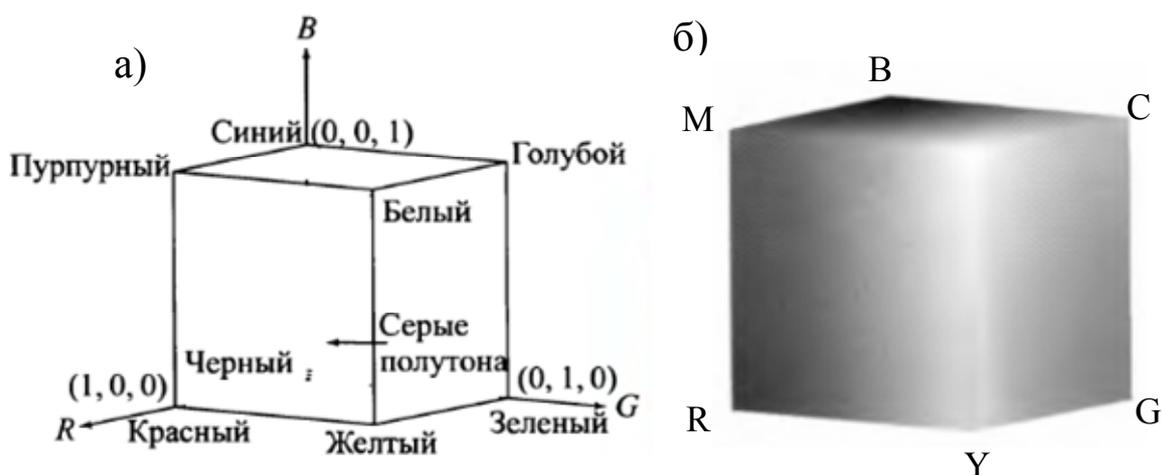


Рисунок 1.27 – Схема цветового куба RGB (а) и цветовой куб RGB (б)

Особенность пространства состоит в том, что при описании цветов на определённых длинах волн, по крайней мере одна из функций подбора цвета будет отрицательной. Это не противоречит законам природы, а просто говорит о том, что для подбора некоторых оттенков необходимо пользоваться разностным соответствием независимо от принятого набора основных цветов (рисунок 1.28).

Системы технического зрения, предназначенные для мониторинга состояния объектов и анализирующие их (объектов) цветовые параметры основываются на исследовании небольших различий в цвете. Если эти различия отобразить в цветовом пространстве, они сформируют границу области цветов, неотличимых от исходного цвета. Обычно едва различимые отличия образуют эллипсы. Одним из главных недостатков

пространства RGB является то, что эти эллипсы довольно сильно зависят от того, в какой части пространства они расположены, как показано на рисунке 1.29.

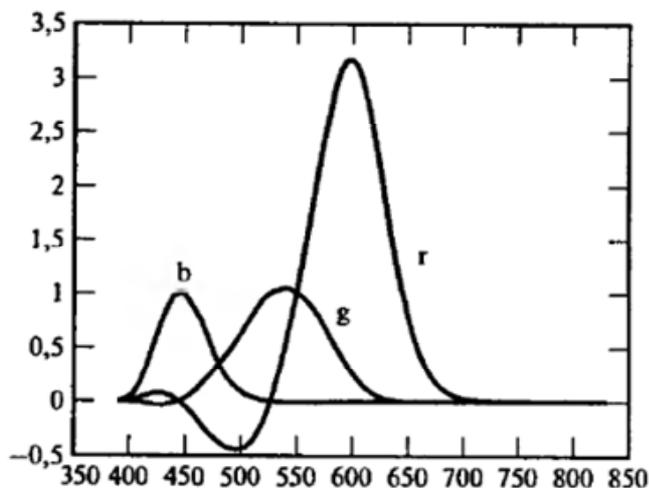


Рисунок 1.28 – Функции подбора цвета для основных цветов RGB

По данным исследований МакАдама, эллипсы в верхней части фигуры больше, чем в нижней и они меняют свою ориентацию, а это приводит к тому, что точность определения цвета напрямую и нелинейно зависит от координат цвета в пространстве.

Помимо всего вышесказанного, цветовое пространство RGB не воспроизводит некоторые цвета спектра вследствие ограничения пространства видимых человеческим глазом цветов формально определёнными цветами R, G и B, которые определяют цветовой треугольник.

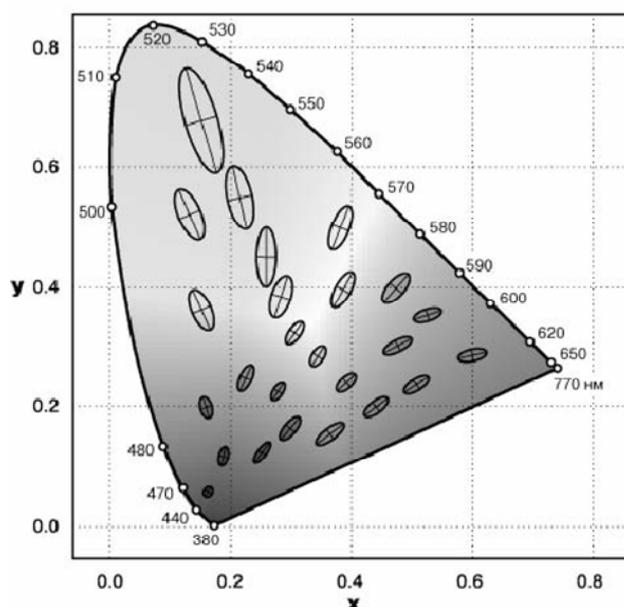


Рисунок 1.29 – Эллипсы областей визуальной одинаковости по данным МакАдама, для наглядности эллипсы увеличены в 10 раз

Вследствие указанных недостатков, цветовое пространство RGB не является приемлемым для использования в автоматических приборах, определяющих цветовые характеристики объектов с заданной точностью, однако может успешно использоваться в приборах, рассчитанных для вывода визуальной информации на экран монитора для анализа оператором.

1.10.2 Цветовое пространство XYZ

Для того чтобы исключить такой недостаток цветового пространства RGB, как ограничение пространства видимых человеческим глазом цветов, было создано цветовое пространство XYZ.

В случае, когда спектральная составляющая коэффициента яркости $\beta(\lambda)$ объекта определена для всех длин волн λ видимого спектра, координаты цвета X, Y, Z рассчитываются по уравнениям:

$$\begin{cases} X = k \int_{\lambda} \beta(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y = k \int_{\lambda} \beta(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\ Z = k \int_{\lambda} \beta(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{cases}$$

где

$$k = \frac{100}{\int_{\lambda} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda}.$$

В этих уравнениях $S(\lambda)$ – относительное распределение энергии источника, освещающего объект; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – функции сложения стандартного колориметрического наблюдателя МКО 1931 г. Аналогичные уравнения существуют, если в качестве наблюдателя принят дополнительный стандартный колориметрический наблюдатель МКО 1964г.

Пространство видимых цветов в координатах XYZ – это конус, вершина которого находится в начале координат (рисунок 1.30 а). Линейные цветовые пространства дают ряд полезных графических конструкций, которые намного сложнее изобразить в трёх измерениях, чем в двух, поэтому принято строить сечение пространства XYZ плоскостью $X + Y + Z = 1$ и изображать (рисунок 1.30 б) полученную фигуру в координатах

$$(x, y) = \left(\frac{X}{X + Y + Z}, \frac{Y}{X + Y + Z} \right).$$

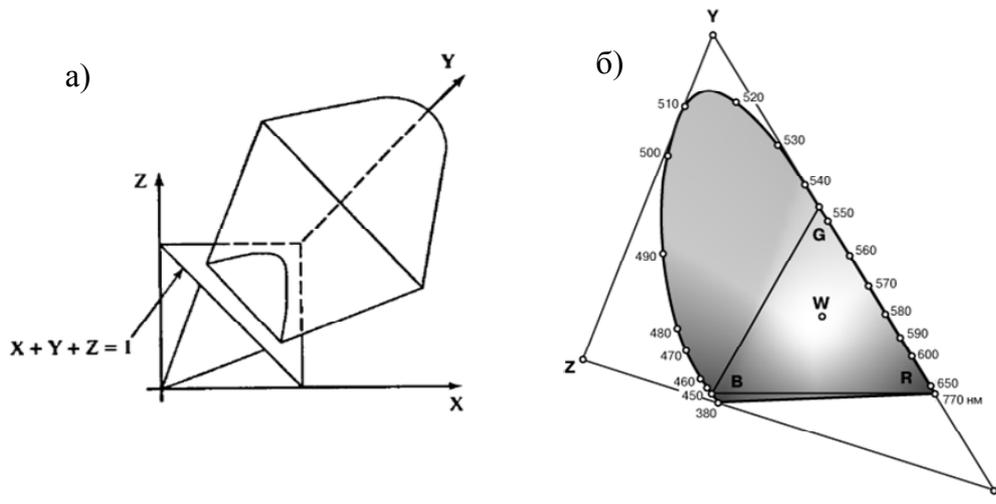


Рисунок. 1.30 – Пространство видимых цветов XYZ (а) и его сечение единичной плоскостью (б)

Пространство XYZ лишено такого недостатка пространства RGB как участок отрицательных значений функций подбора цветов (рисунок 1.31), однако в этом случае основные цвета становятся нереальными, поскольку их спектральное излучение является отрицательным.

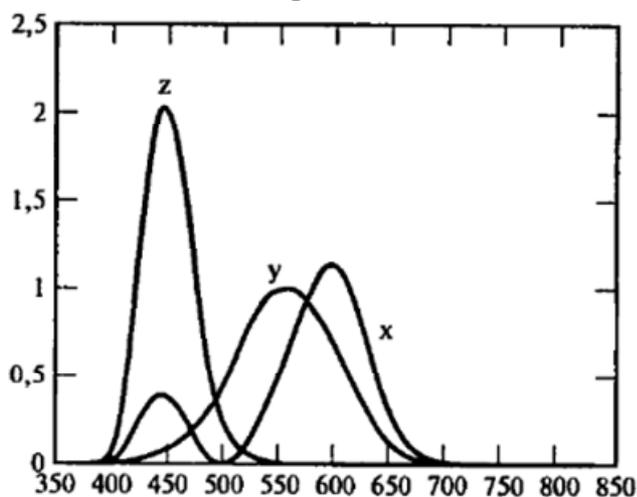


Рисунок 1.31 – Функции подбора цвета для основных цветов XYZ

Тем не менее, цветовое пространство XYZ не лишено недостатка неравномерности областей визуально одинаковой цветности, что ведёт к ограничению использования данного пространства при описании цветовых параметров объектов в автоматических информационно-измерительных ОЭС аналогично цветовому пространству RGB.

1.10.3 Цветовое пространство СМУК

Голубой (Cyan), пурпурный (Magenta) и жёлтый (Yellow) являются вторичными основными цветами световых источников или, альтернативно, первичными цветами красителей. Например, при освещении белым светом поверхности, покрашенной голубой краской, красный цвет от неё не отражается. Значит, голубой краситель вычитает красную компоненту из

отражаемого белого цвета, который состоит из равных частей красного, зелёного и синего. Большинство аппаратов для нанесения цветных красителей на бумагу, вроде цветных принтеров и устройств копирования в цвете, либо требуют представления цветных данных в формате CMY, или автоматически совершают преобразование из RGB в CMY. Это преобразование совершается по очень простым правилам:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix},$$

где предполагается, что все цветовые компоненты нормированы в диапазоне $[0, 1]$. Эти уравнения демонстрируют эффект неотражения красного цвета от поверхности, покрытой чисто голубой краской (из уравнения имеем $C = 1 - R$). Аналогично, чисто пурпурный цвет не отражает зелёный, а чисто жёлтый не отражает синий. Из этих уравнений следует, что для получения RGB компонент из CMY достаточно вычесть каждую из них из 1.

В теории равные количества первичных красителей голубого, пурпурного и жёлтого должны давать чёрный цвет. На практике, при смешении этих цветов на печати получается чёрный, который выглядит более осветлённым, чем оригинальный чёрный цвет. Поэтому, чтобы получить истинный чёрный цвет (который часто доминирует при цветной печати), цветовое пространство CMY расширяется до пространства CMYK четвёртым цветовым компонентом – чёрным цветом. Таким образом, когда издатели говорят о четырёхцветной печати, они имеют в виду трёхцветное пространство CMY плюс чёрный цвет.

Поскольку цвета C, M и Y являются персичными цветами красителей, что это пространство может использоваться исключительно для описания цветов при выводе изображений на печать. Кроме того, поскольку цветовое пространство CMY тесно связано с цветовым пространством RGB, оно имеет те же недостатки и те же ограничения в использовании.

Нелинейные цветовые пространства

Координаты цвета в линейном пространстве не обязательно кодируют свойства, принятые в языке и необходимые для анализа системами технического зрения, предназначенными для мониторинга состояния объектов по их цветовым параметрам. В число полезных понятий, касающихся цвета, входят: оттенок, насыщенность и яркость, если нужно определить, попадает ли цвет в особенную область красного цвета, например. В этом случае необходимо кодировать оттенок цвета. Кроме того, оттенки цветов нельзя смоделировать с помощью отдельных координат линейных цветовых пространств, ввиду локальной взаимосвязи между основными цветами. Решение этой проблемы находится в создании

цветовых пространств, которые отражают связи между оттенками цветов с помощью нелинейных преобразований в пространстве RGB.

1.10.4 Цветовое пространство L*a*b*

Цветовое пространство L*a*b* является проективным равноконтрастным криволинейным преобразованием пространства XYZ. Поэтому, прямые линии, построенные на графике XY, будут передаваться на графике a*b* кривыми. Координаты a* и b* не являются независимыми координатами цветности, поскольку в формулы для их определения включён коэффициент яркости Y0 белого цвета, а X0 и Z0 – цветности опорного (белого) цвета:

$$\begin{cases} L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - 16 \\ a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} \right] \\ b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{1/3} \right] \end{cases}$$

Координата L определяет яркость цвета, a* – соотношение красного и зелёного цветов, b* – соотношение синего и жёлтого (рисунок 1.32).

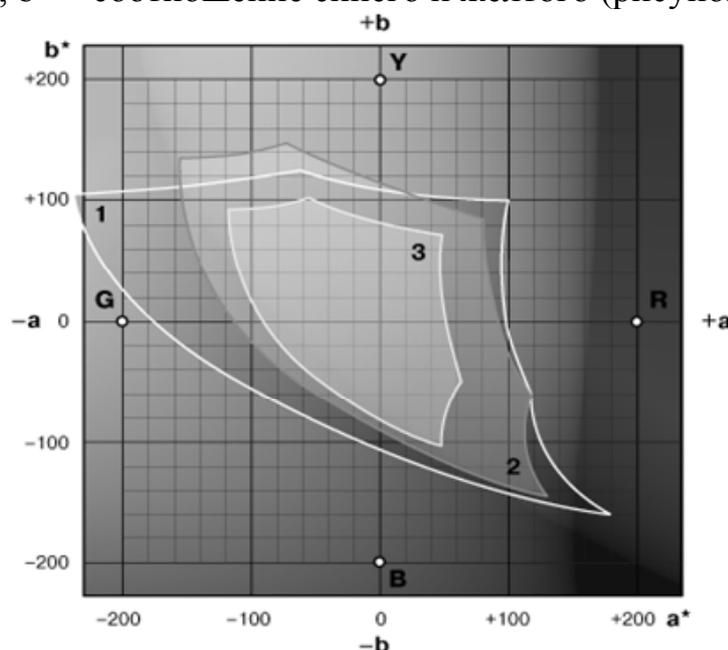


Рисунок 1.32 – График цветностей цветового пространства L*a*b* с нанесёнными на него границами цветового охвата: цветов с практически максимальным цветовым охватом (1), колориметра Райта (2), цветового пространства RGB (3)

Это пространство наиболее точно описывает параметры цвета, так как обладает самым широким охватом. Ее часто используют в качестве

внутренней модели многих программных продуктов, и с ее помощью в них осуществляется пересчет из одной модели цвета в другую.

Достоинством данного пространства является то, что в ней информация о цвете (координаты a^* и b^*) и яркости (координата L^*) разделены и являются независимыми. Это дает возможность изменять тоновые градационные характеристики изображения, не затрагивая цветовые.

Самым большим недостатком пространства $L^*a^*b^*$ считают высокую концентрацию цветовой информации в середине осей a^* и b^* . Это затрудняет тонкую коррекцию и определение цветов с помощью градационных кривых. Кроме того, присутствует взаимозависимость между цветовыми координатами a^* и b^* , что затрудняет использование пространства $L^*a^*b^*$ при анализе цветовых параметров объектов с помощью цветowych автоматических информационно-измерительных ОЭС.

1.10.5 Цветовое пространство HSV

Цветовое пространство HSV (Hue, Saturation, Value: цветовой тон, насыщенность, величина) представляет собой одно из цветowych пространств, в которых выбор цвета похож на обращение с палитрой или гаммой цветов при работе художника с красками или чернилами. Это цветовое пространство стоит гораздо ближе к описанию и восприятию цвета человеком, чем пространство RGB. Пользуясь терминологией художников, термины цветовой тон, насыщенность и величина соответствуют приблизительно словами, как окраска, оттенок и сила тона.

Цветовое пространство HSV можно увидеть, если посмотреть на цветовой куб RGB вдоль его серой оси, которая соединяет чёрную и белую вершины. В результате наблюдается цветова палитра в форме шестиугольника, которая изображена на рисунке 1.33а.

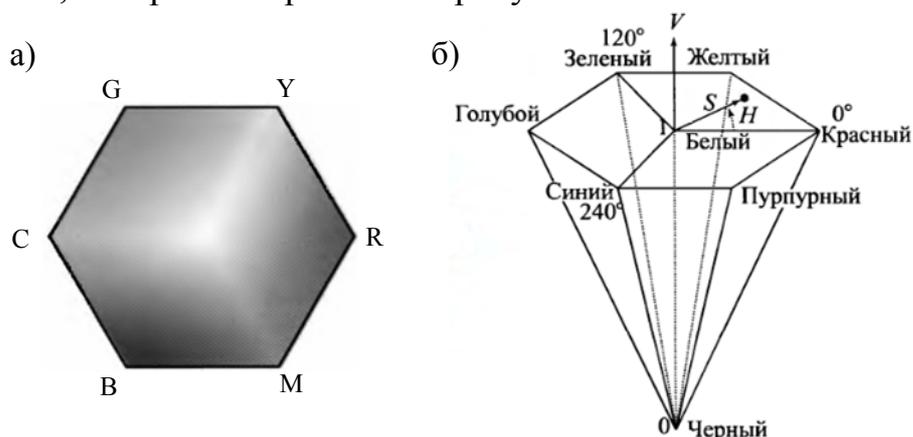


Рисунок 1.33 – Цветной шестиугольник HSV (а) и шестигранный конус HSV (б)

По мере движения вдоль серой оси на рисунке 1.33б, размер шестиугольника в перпендикулярном сечении соответствует величине V на рисунке. Цветовой тон H выражается углом на цветном

шестиугольнике, причём принято отсчитывать этот угол от луча, соединяющего центр и красную вершину. Величина V измеряется вдоль оси конуса, вершина которого соответствует величине $V = 0$. Конец оси соответствует величине $V = 1$ (белый цвет), и соответствующая точка располагается в центре полноцветного шестиугольника на рисунке 1.33а. Таким образом, на этой оси располагаются все оттенки серого цвета. Насыщенность S цвета измеряется расстоянием до оси V .

Цветовое пространство HSV основано на цилиндрических координатах. Поэтому преобразование из RGB в HSV осуществляется по стандартным формулам пересчёта из прямоугольных в цилиндрические координаты.

Самым главным недостатком цветового пространства HSV является взаимосвязь между S и V координатами, что является препятствием использования пространства HSV при анализе цветовых параметров объектов с помощью цветовых автоматических информационно-измерительных ОЭС.

1.10.6 Цветовое пространство HLS

В цветовом пространстве HLS (Hue, Lightness, Saturation – цветовой тон, яркость, насыщенность (по Манселлу)) яркостная информация отделена от информации о цветовом тоне и его насыщенности, т.е. каналы являются независимыми друг от друга. Характеристики цветового тона аналогичны характеристикам в пространстве HSV, только понятие насыщенности заменено понятием насыщенности по Манселлу, а понятие яркости аналогично понятию светлоты. Цветовые восприятия насыщенности представлены коаксиальными цилиндрами. Таким образом, при изменении яркости цвета предмета наблюдатель, воспринимающий цвет в системе HLS будет замечать только изменение яркости (рисунок 1.34).

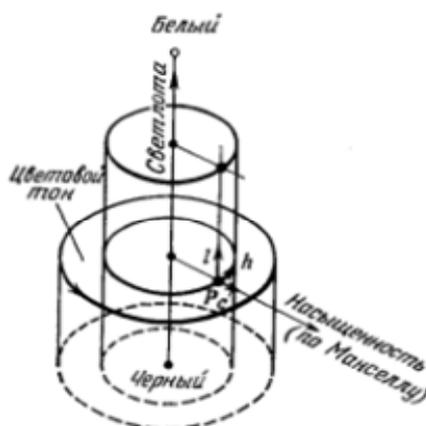


Рисунок 1.34 – Геометрическая модель, представляющая цветовое пространство HLS

Алгоритм преобразования из начальном цветовом пространстве RGB, в которой работает цветной приёмник оптического излучения, в цветовое пространство HLS тогда выглядит следующим образом:

$$L = \frac{(\max - \min)}{2}$$

$$S = \begin{cases} \frac{(\max - \min)}{(\max + \min)} & \text{if } L \leq 0,5 \\ \frac{(\max - \min)}{(2 - \max - \min)} & \text{if } L > 0,5 \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} cb - cg & \text{if } \max = R \\ 2 + cr - cb & \text{if } \max = G \\ 4 + cg - cr & \text{if } \max = B \end{cases}$$

где

$$\max = \max \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix},$$

$$\min = \min \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix},$$

$$cr = (\max - R) / (\max - \min)$$

$$cg = (\max - G) / (\max - \min)$$

$$cb = (\max - B) / (\max - \min)$$

Таким образом, вследствие независимости всех трёх координат цветового пространства HLS, то есть независимости описания таких параметров цвета, как цветовой тон, яркость и насыщенность делает это цветовое пространство наиболее удобным для применения в автоматических информационно-измерительных ОЭС.

ГЛАВА 2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Телевизионные измерительные системы являются одним из наиболее важных классов информационных сканирующих систем, широко применяемых в автоматизированных системах управления, обработки научной информации и т. д. В ВИИС, как и в других информационных сканирующих системах, осуществляется последовательное сканирование многомерного входного сигнала считывающей апертурой и преобразование его в одномерный электрический сигнал. Процессы обработки электрического сигнала в информационных сканирующих системах различных классов практически одинаковы.

Несмотря на большое разнообразие задач, решаемых с помощью ВИИС, можно представить обобщенную функциональную схему ВИИС, состоящую из нескольких основных модулей (рисунок 2.1). Часть входящих в схему модулей является обязательной независимо от решаемой задачи.

К обязательным модулям относятся [4]:

система формирования изображения (СФИ), которая осуществляет предварительную обработку входного сигнала и формирует двумерную функцию $E(x,y)$, пропорциональную яркости и заданной на плоскости изображения фотоэлектрического преобразователя или фотоносителя. В общем случае формируется серия изображений, соответствующих определенным моментам времени, спектральному диапазону, проекциям трёхмерного пространства.

датчик первичных отсчетов (ДПО), в котором осуществляется фотоэлектрическое преобразование двумерной функции $E(x,y)$ в одномерную $U_c(t)$ – видеосигнал; предварительная обработка видеосигнала, заключающаяся в усилении, временной задержке, стробировании, нелинейном ограничении, пространственной фильтрации, нормировке и других операциях, в результате которых формируется измерительный сигнал, характеристики которого согласованы с соответствующими характеристиками устройств получения первичных отсчетов видеосигнала по динамическому диапазону изменения амплитуды сигнала, полосе частот, временному положению и т. п.; формирование первичных отсчетов амплитуды видеосигнала, соответствующих определенным значениям параметров считывающей апертуры, в качестве которых могут быть координаты, определяющие положение апертуры в плоскости изображения ФЭП, связанные с координатами пространства входного сигнала, ориентация - в случае анизотропной апертуры - и другие параметры, определяющие весовую функцию апертуры;

синхрогенератор, обеспечивающий формирование временной отсчётной сетки импульсов, необходимых для управления развёрткой, АЦП и другими элементами ТИС и получения временного отсчёта.

измерительное устройство (Изм) осуществляет обработку первичных отсчетов, включающую учет ошибок, двумерную фильтрацию, усреднение, интерполяцию и т. п., а также преобразование обработанных первичных отсчетов в оценки измеряемых величин (яркости, координаты, площади, цвет, а также другие величины) и их распределения; в режиме селекции и целеуказания осуществляет также выделение измеряемых объектов или грубое указание значений измеряемых величин по заранее известным сведениям о входном сигнале или по данным, получаемым в процессе измерения.

Необязательными модулями являются [4]:

устройство индикации (Инд), которое при необходимости обеспечивает возможность документирования, визуального контроля за процессом преобразования сигнала в ТИС, участия оператора на различных стадиях обработки сигнала, в частности для введения целеуказания при выделении измеряемых объектов, а также для оценки измеряемой величины в метрических системах;

аппаратура калибровки (АК), используемая только в высокоточных ТИС для предварительной оценки функций корректирующих сигналов или параметров отдельных звеньев ТИС.

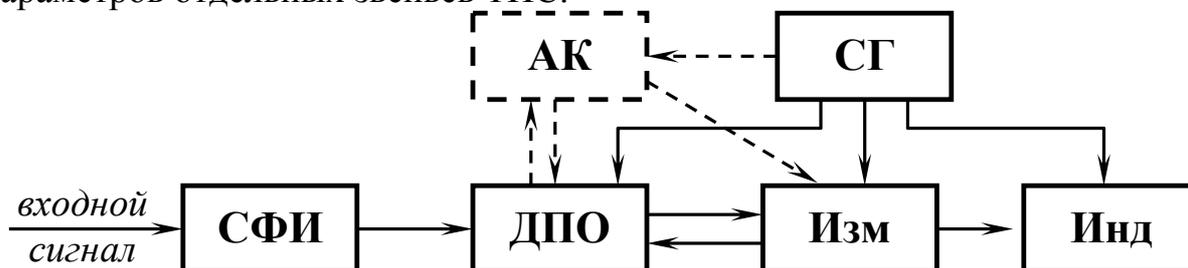


Рисунок 2.1 – Обобщенная функциональная схема ВИИС

Отличительные особенности класса ВИИС заключаются в наличии оптического сигнала (изображения) на входе системы и в способах его преобразования в электрический сигнал.

Выделяют три способа построения ВИИС: аппаратный; программный; программно-аппаратный.

2.1 Принципы аппаратной реализации ВИИС

При аппаратной реализации (рисунок 2.2) в составе ВИИС кроме ТВД можно выделить группу узлов, объединенных в блок предварительной обработки видеосигнала, и измерительный блок. Главной особенностью схемы является то, что каждый узел может выполнять единственную операцию обработки сигнала, определяемую его внутренней структурой. Выполнение сложного алгоритма обработки, включающего

несколько операций, достигается последовательным включением соответствующих узлов. Для перехода к другому алгоритму обработки с помощью коммутирующих устройств составляется новая цепочка узлов (из числа входящих в состав блока).

Принцип работы телевизионного координатора со следящим стробом, приведенного на рисунке 2.2, заключается в следующем. Блок предварительной обработки видеосигнала предназначен для устранения тех его составляющих, которые препятствуют проведению операций обнаружения объекта (в режиме поиска) и измерения его координат (в режиме слежения), а также для преобразования сигнала на входе измерительного блока к виду, наиболее удобному для выполнения измерительного алгоритма. В состав блока входят узлы обработки видеосигнала: фильтр (Ф), преобразователь стандарта (ПС), преобразователь формы представления сигнала (ПФПС) и устройство выборки (УВ) сигнала, узел, позволяющий изменять структуру блока при переходе из режима поиска в режим слежения, и наоборот: электронный коммутатор (ЭК), а также генератор строба (ГС) и специализированный синхрогенератор (ССГ), работающий в ведомом режиме по синхросигналам, выделяемым из видеосигнала с выхода ТВД, и обеспечивающий работу всех узлов ТИС с помощью тактовых и других опорных синхронизирующих сигналов[8].

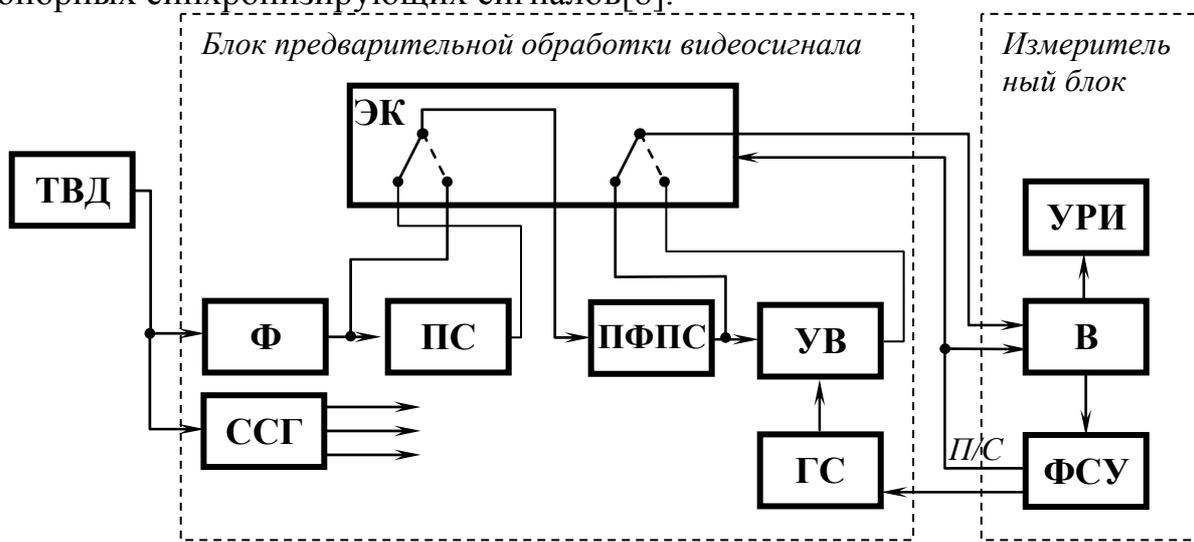


Рисунок 2.2 – Структурная схема ВИИС при аппаратной реализации

В состав измерительного блока входят вычислитель (В), выполняющий основной измерительный алгоритм, устройство регистрации и индикации (УРИ) измеряемого параметра объекта и формирователь сигналов управления (ФСУ). На одном выходе ФСУ формируется сигнал «поиск/слежение» (П/С), на другом - сигнал, совмещающий центр следящего строба с изображением объекта. В исходном состоянии ТИС находится в режиме поиска. При этом

электронный коммутатор обеспечивает прохождение видеосигнала по цепочке Ф-ПС-ПФПС и далее на вход вычислителя.

Вычислительный алгоритм в режиме поиска реализует операции обнаружения сигнала объекта путем пороговой обработки входного сигнала по всему растру и определение координат обнаруженного объекта. После обнаружения объекта ВИИС переводится в режим слежения (путем формирования сигнала «слежение» на выходе ФСУ). Электронный коммутатор переводится в состояние, при котором видеосигнал от ТВД проходит на вход вычислителя по цепочке Ф-ПФПС-УВ. Устройство выборки обеспечивает стробирование видеосигнала на участке растра, совпадающем с изображением объекта, так как первоначальная установка генератора строба производится по координатам объекта, вычисленным на этапе обнаружения. В режиме слежения вычислитель выполняет алгоритм измерения координат объекта относительно центра строба и через формирователь сигналов управления вводит соответствующую поправку в положение строба, вырабатываемого генератором строба в очередном кадре. В результате центр следящего строба совмещается с центром объекта.

Остановимся подробнее на операциях предварительной обработки видеосигнала, выполняемых ВИИС. Предусмотренный в схеме (рис. 2.2) набор узлов, ответственных за предварительную обработку видеосигнала, является достаточно стандартным и характерным для ВИИС различного назначения. Фильтр может выполнять задачи подавления флуктуационных и фоновых помех в видеосигнале, выделения сигнала подвижного объекта на фоне неподвижных, пространственной селекции объекта по форме, размерам и другим признакам. Преобразователь стандарта во многих случаях необходим для согласования скорости поступления информации от ТВД с быстродействием вычислительного устройства, выполняющего основной измерительный алгоритм. Как правило, задача преобразователя заключается в том, чтобы уменьшить число используемых элементов разложения, например, преобразовать изображение размером 512x512 элементов в изображение размером 64x64 элемента. При этом каждый элемент изображения содержит усредненную информацию об участке первоначального изображения размером 8x8 элементов. Такое преобразование допустимо, когда оно не приводит к искажениям полезной информации об объекте или когда эти искажения не превышают допустимых. Операция является полезной, например, для организации режима поиска объекта по всему растру при ограниченном быстродействии вычислителя, позволяя уменьшить число элементов, обрабатываемых за время кадра, а снижение точности определения координат в режиме поиска (за счет укрупнения элемента) компенсируется правильным выбором размера следящего строба.

В качестве преобразователя формы представления сигнала наиболее широко используют аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), упорядоченную запись цифрового видеосигнала в матричную память и создание, таким образом, цифрового изображения. Возможно также применение более сложных функциональных преобразований сигнала — преобразования Фурье (ПФ) и автокорреляционной функции (АКФ). Устройство выборки также довольно часто используется в качестве элемента структуры ТИС, предназначенного для уменьшения объема информации на входе вычислительного блока при условии, что местоположение объекта в пределах раstra локализовано и ограничено размерами строка. Стробирование сигнала позволяет увеличить помехоустойчивость ТИС, снижает требования к быстродействию вычислителя, позволяет использовать более совершенные вычислительные алгоритмы [8].

Аппаратный метод (рисунок 2.2) реализации ТИС имеет ряд недостатков. Главный из них заключается в жесткой структуре схемы устройства, ориентированной на выполнение одного алгоритма обработки информации. Переход к другому алгоритму связан с изменением структуры устройства путем переключения ограниченного набора функциональных узлов. Выбор функциональных узлов производится из ограниченного набора.

2.2 Принципы программной реализации ВИИС

При программном методе реализации в состав ВИИС входят (рисунок 2.3) ТВД, интерфейс и ЭВМ. Блок интерфейса предназначен для согласования ТВД с ЭВМ путем преобразования аналогового видеосигнала в цифровую форму и его записи в память ЭВМ. Алгоритм измерения реализуется программно и может быть легко адаптирован к решаемой задаче. В этом случае ограничения на класс измерительных алгоритмов определяются лишь быстродействием ЭВМ. При необходимости результат измерения через интерфейс может быть выведен для индикации, регистрации или управления.

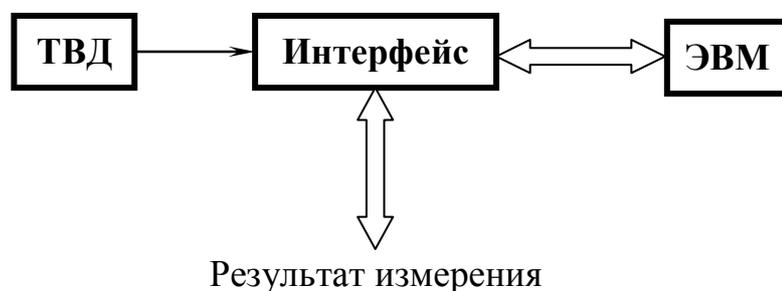


Рисунок 2.3 – Структурная схема ВИИС при программной реализации

Из сравнения схем аппаратной и программной реализации видно, что в последнем случае ЭВМ поручается как предварительная обработка цифрового видеосигнала, так и выполнение основного измерительного алгоритма.

Программный метод (рисунок 2.3) реализации ВИИС обладает рядом преимуществ по сравнению с аппаратным методом, главным из них является гибкость такой системы, т.к. переход к другому алгоритму, как правило, связан с изменением программного обеспечения ЭВМ, однако, программный метод в ряде случаев уступает по производительности аппаратному.

2.3 Принципы программно-аппаратной реализации ВИИС

Использование достоинств аппаратной (быстродействие) и программной (универсальность, гибкость, адаптация) реализации при одновременной компенсации их недостатков достигается при программно-аппаратной реализации ВИИС (рисунок. 2.4).

В этом случае основной измерительный алгоритм выполняется однокристалльной электронно-вычислительной машиной (ЭВМ). Блок предварительной обработки предназначен для сокращения избыточности видеосигнала, поступающего с выхода ТВД, и преобразования его к форме, удобной для обработки на ЭВМ.

В приведенном примере блок предварительной обработки содержит устройство аналоговой обработки (УАО), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), преобразователь стандарта (ПС), буферное запоминающее устройство (БЗУ), формирователь адреса (ФА) и специализированный синхрогенератор (ССТ). Часть блоков (ПС, БЗУ, ФА) работает под управлением программы ЭВМ, что позволяет программным путем изменять параметры и структуру алгоритма предварительной обработки.

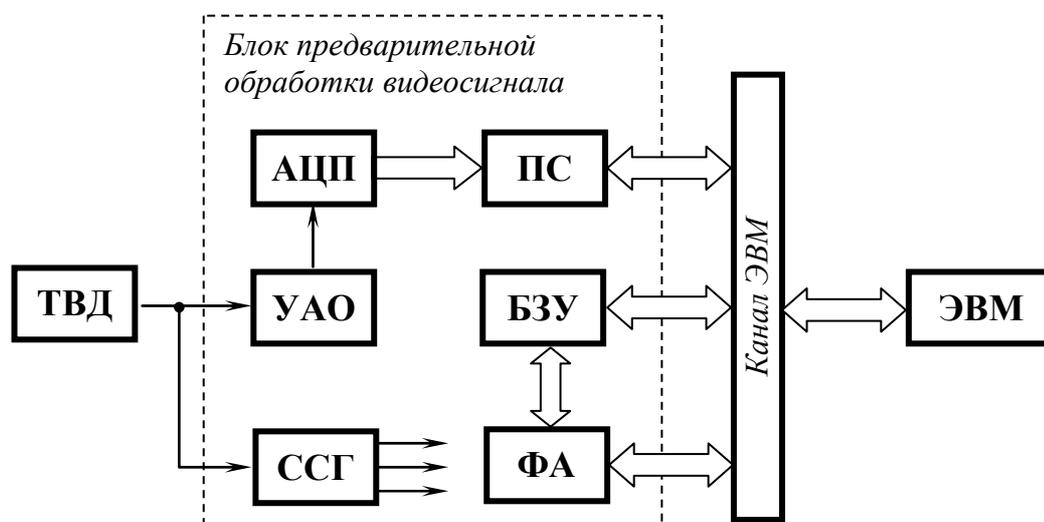


Рисунок 2.4 – Структурная схема ВИИС при программно-аппаратной реализации

Устройство работает следующим образом. Из текущего кадра выделяется фрагмент изображения и записывается в БЗУ в темпе телевизионной развертки. При этом размер фрагмента и его положение в кадре определяются программно, а формирование адреса БЗУ при записи данных производится под управлением тактирующих импульсов синхрогенератора. Считывание и обработка данных, записанных в БЗУ, происходят во время выполнения основного измерительного алгоритма. Адрес при считывании информации из БЗУ создается в ЭВМ.

Сочетание программных и аппаратных средств позволяет, таким образом, создать на основе стандартных ТВД и ЭВМ телевизионно-измерительные комплексы, работающие в реальном масштабе времени и обеспечивающие при наличии соответствующего пакета прикладных программ решение широкого класса измерительных задач. Включение аппаратных средств в состав ВИИС обусловлено необходимостью выполнения простейших операций обработки видеосигнала от каждого элемента изображения. Ввиду большого числа элементов разложения N поручать выполнение этих операций ЭВМ нецелесообразно. С другой стороны, измерительные алгоритмы с ограниченным числом отсчетов видеосигнала достаточно сложны и, кроме того, чрезвычайно разнообразны. Очевидно, для их реализации наиболее подходит универсальное вычислительное устройство, каким является ЭВМ. Таким образом, распределение задач, решаемых ВИИС аппаратными и программными средствами, сводится к следующему. Ограниченный набор простейших многократно повторяемых вспомогательных операций выполняется аппаратными средствами. В результате из исходного изображения удаляется второстепенная информация, сокращается объем информации и преобразованное таким образом изображение - «машинный кадр» - становится пригодным для выполнения с помощью ПЭВМ основного измерительного алгоритма [8].

Программно-аппаратный метод реализации ВИИС обладает следующими достоинствами: быстродействие; универсальность; гибкость; простота адаптации к различным измерительным задачам.

На ЭВМ в общем случае возлагаются следующие задачи:

- выбор режима работы ВИИС ;
- сбор измерительной информации;
- сбор дополнительной измерительной информации;
- восстановление общей измерительной картины;
- отображение измерительной и вспомогательной информации;
- хранение полученных данных;
- предупреждение о возможных критических ситуациях, на объекте мониторинга.

2.4 Распределенные оптико-электронные системы

Для решения различных измерительных задач с помощью ВИИС, например, задач контроля деформации крупногабаритных инженерных сооружений, необходимо реализовать распределенную оптико-электронную систему (РОЭС) обеспечивающую многоточечный непрерывный контроль, что позволяет получать полную информацию о состоянии объекта. Если воспользоваться известным из радиолокации термином «разнесенный прием», то элементы совокупности последовательных однократных измерений разнесены во времени на интервал времени, или кратный ему. Разнесенный во времени прием наиболее прост в реализации, так как не требует модернизации ТВД, однако не является единственно возможным. Применение более сложных ТВД позволяет осуществить прием информации об объекте с разнесением по оптическому спектру и по пространству [8].

Под РОЭС предложено понимать совокупность функционально объединенных оптико-электронных преобразователей (ОЭП), определенным образом распределенных в пространстве, во времени, по спектральному диапазону используемого излучения, воспринимающих часть информации содержащейся в оптическом сигнале об измеряемом объекте, преобразующих её в электрический сигнал, передаваемый по каналу передачи данных на центральный управляющий прибор, причем, информация о распределении ОЭП и о взаимосвязи между ними известна до начала измерения. Центральный управляющий прибор, используя информацию о распределении ОЭП, восстанавливает общую информационную картину из частей, полученных от ОЭП, а также осуществляет управление процессом собора, хранения и отображения измерительной информации. В состав РОЭС так же могут входить источники дополнительной информации об объекте, например, температурные датчики.

Обобщая выше сказанное, стоит отметить, что РОЭС необходимо строить по блочно-модульному принципу, что позволит создать универсальную систему способную решать различные измерительные задачи, путем изменения набора блоков входящих в её состав, а также обеспечить экономию времени при её разработке и обслуживании. Стоит особо отметить, что РОЭС призвана обеспечивать многоточечный контроль состояния объекта.

В дальнейшем ОЭП входящий в РОЭС в связке с источником оптического излучения будем называть измерительным каналом (ИК) (рисунок 2.5), таким образом, в состав ИК должны входить источник и приёмник оптического излучения, а также блоки интерфейса (БИ), обеспечивающий двухстороннюю связь ИК с каналом передачи данных.

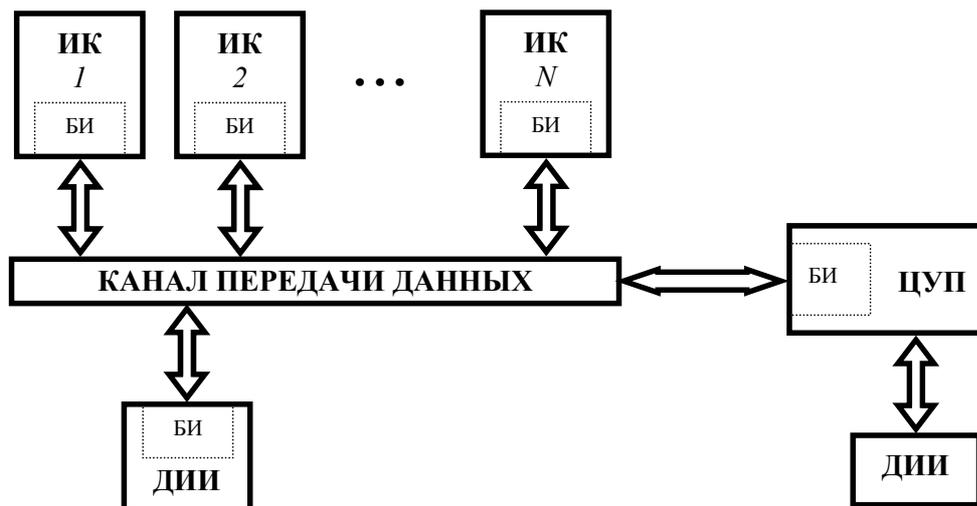


Рисунок 2.5 – Общая схема распределенной оптико-электронной системы

ЦУП помимо блоков обеспечивающих сбор, отображение и хранение измерительной информации, должен обладать и БИ, обеспечивающим подключение к каналу передачи данных. ДИИ могут подключаться напрямую к ЦУП или (и) через БИ к каналу передачи данных. Количество и принцип действия необходимых ДИИ определяется из задачи решаемой РОЭС.

На рисунке 2.5 представлена общая схема РОЭС. Следует отметить, что ИК может быть построен по схеме указанной на рисунке 2.5, только в его состав вместо ЦУП будет входить промежуточный управляющий прибор (ПУП), выполняющий функции сбора и передачи данных из в своего сегмента РОЭС в ЦУП, в таком случае ИК будем называть – составным, в том смысле, что он представляет собой не одиночный ОЭП, а их целый набор. В противном случае ИК называется простым, или просто ИК.

Каждому ИК в РОЭС присваивается свой уникальный персональный номер – идентификатор. Накопление и обработка измерительной информации производится по управляющим командам, поступающим с ЦУП. В связи с этим каждый ИК должен получить команду на накопление, обработку измерительной информации, а также пересылку результатов измерений. В случае, когда в РОЭС нет составных ИК и все ИК имеют одинаковые характеристики быстродействия, возможны два варианта организации пересылки управляющих команд, последовательная, т.е. каждому ИК по отдельности, и широковещательная – подается одна общая управляющая команда. В варианте с широковещательными управляющими командами РОЭС работает приблизительно в N (число ИК в системе) раз быстрее, что позволяет существенно уменьшить объем передаваемых управляющих команд и ускорить процесс получения полной картины состояния объекта.

2.5 Описание РОЭС на базе персональных электронно-вычислительных машин

Как было показано выше программно–аппаратный принцип построения ИК РОЭС является наиболее предпочтительным по сравнению с аппаратным и программным принципами при построении РОЭС. Однако бурное развитие современных ПЭВМ в плане производительности, а также элементной базы, различных плат расширения и средств связи ПЭВМ в сеть для обмена информацией, позволяет довольно легко реализовать РОЭС по программному принципу, исключив при этом проблемы с проектированием аппаратной части РОЭС, т.к. весь необходимый набор приборов и модулей выпускается промышленностью. Общая схема РОЭС на базе ПЭВМ представлена на рисунке 2.6.

Как было отмечено выше в качестве приемника оптического излучения, при цифровой обработке измерительной информации, удобно использовать ТВД на основе ФПЗС.

Оптическая схема строится по одной из рассмотренных схем. В качестве устройства, преобразующего видеосигнал в цифровой вид необходимо использовать устройство видеозахвата, причем стоит отметить, что на данный момент промышленностью выпускаются устройства позволяющие подключать к ПЭВМ несколько ТВД, таким образом можно легко реализовать составной ИК. Принцип работы ИК в данном случае следующий: оптическая часть строит изображение на фоточувствительной площадке ФПЗС, сформированный ФПЗС видеосигнал поступает на устройство видеозахвата, которое производит предварительную обработку (усиление, привязка уровня) и записывает оцифрованный видео сигнал в ОЗУ ПЭВМ.

ПЭВМ под управлением специального программного обеспечения, производит программную обработку полученного сигнала, извлекая из него измерительную информацию, и по каналу передачи данных передает её в ЦУП.

Программное обеспечение (ПО) ИК в общем случае должно выполнять следующие функции:

- управления захватом видеосигнала;
- предварительной обработки измерительной информации (например, фильтрация, удаление избыточности);
- извлечения измерительной информации;
- обеспечения двухсторонней связи с ЦУП по каналу связи, для передачи измерительной информации и приема управляющих команд;
- обработки управляющих команд;
- обработки возможных критических ситуаций, программных ошибок.

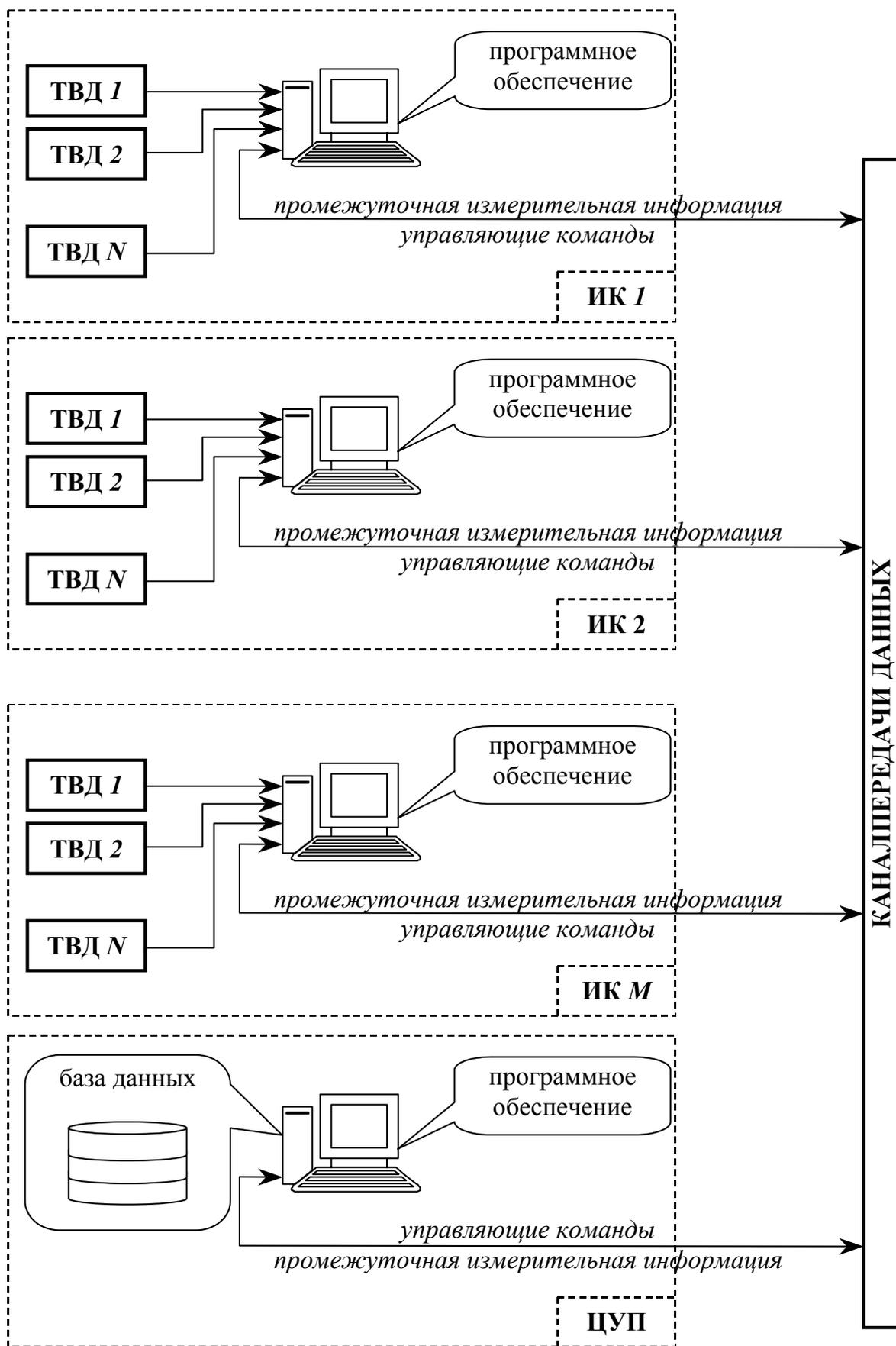


Рисунок 2.6 – Общая схема РОЭС на базе ПЭВМ

Так же для функционирования ПЭВМ необходимо наличие операционной системы – комплекса программ, управляющих ресурсами ПЭВМ и процессами, использующими эти ресурсы.

ЦУП, связанный каналом связи со всеми ИК системы, собирает фрагменты измерительной информации со всех ИК, затем под управлением программного обеспечения используя заранее известную информацию о распределении измерительных каналов системы в пространстве, времени, спектральном диапазоне производит восстановление полной информационной картины состояния объекта измерений. Далее ЦУП в соответствии с программой производит индикацию информации, запись в базу данных, выдачу управляющих команд на различные устройства, например систему сигнализации, устройства управления и т.д.

ПО ЦУП должно включать операционную систему, а также набор специализированных программных продуктов, выполняющих следующие функции:

- формирования и передачи по каналу передачи данных управляющих команд для ИК;
- сбора измерительной информации;
- восстановления полной информационной картины;
- функции анализа измерительной информации и выработки управляющих команд на внешние устройства (например, систему оповещения);
- обработки возможных критических ситуаций, программных ошибок;
- индикации измерительной информации;
- работы с базой данных измерительной информации;
- управления работой системы оператором.

Описать построение канала связи довольно сложно, т.к. его формирование обуславливается условиями работы системы в целом. Однако стоит отметить, что канал передачи данных в системы может представлять набор фрагментов с различными линиями передачи данных, а также включать в себя уже существующие системы передачи данных, например, сеть Internet, систему спутниковой связи и локальные сети.

К достоинствам РОЭС построенной на базе ПЭВМ следует отнести:

- отсутствие необходимости разрабатывать аппаратные средства, т.к. все устройства и модули, необходимые для построения РОЭС, производятся промышленностью;
- возможность реализации различных алгоритмов обработки измерительной информации без изменения аппаратной части системы;
- возможность построения как автоматической, так и автоматизированной системы, не требующей оператора;

- возможность программным образом управлять режимами сбора информации, а также режимами работы системы в целом;
- возможность подключения дополнительных источников информации и управляемых устройств, что потребует изменение, в основном, только программной части системы;
- возможность удаленного управления системой, не находясь в непосредственной близости к ЦУП;
- простота модернизации и развития как всей системы в целом, так и ее составных частей;

К недостаткам рассматриваемого принципа построения РОЭС следует отнести:

- большое энергопотребление системы;
- большие габаритные характеристики;
- дороговизна системы в целом.

2.6 Особенности РОЭС на базе ПЭВМ и ОЭВМ

Скомпенсировать недостатки РОЭС построенной на базе ПЭВМ, можно заменив ПЭВМ, входящий в состав ИК однокристалльной электронно-вычислительной машиной (ОЭВМ), или как принято называть микроконтроллером, что позволит существенно снизить энергопотребление системы в целом, габариты устройств, входящих в состав системы, а уменьшить её себестоимость (при сравнимых объемах производства). Однако стоит учесть тот факт, что аппаратные возможности ОЭВМ гораздо уже, чем у ПЭВМ, что может привести к некоторому снижению быстродействия измерительных каналов системы, а соответственно и всей системы в целом. В качестве ЦУП может выступать особый блок, разработанный на базе ОЭВМ, однако использование для этих целей ПЭВМ, очевидно, предпочтительнее. Стоит особо отметить то, что систему, построенную на базе ОЭВМ на аппаратном уровне сложнее модернизировать, т.к. весь комплекс аппаратных средств блока обработки измерительной информации, при его реализации будет жестко завязан на возможности выбранной ОЭВМ.

2.7 Классификация видеоинформационных измерительных систем

Классификацию видеоинформационных измерительных систем возможно проводить по различным признакам. Существует возможность использования для классификации ВИИС схем, распространенных в общей теории информационных измерительных систем. ВИИС можно классифицировать по виду входных сигналов и измеряемых величин, по степени участия оператора, по способам сканирования обработки сигнала.

В общем случае входной сигнал зависит от различного числа фрагментов, например линейных координат плоскости или координат

трехмерного евклидова пространства, времени, длины волны оптического излучения. Соответственно ВИИС, имеющие на входе двумерный сигнал, называются черно-белыми (монохромными) монокулярными системами, а ВИИС, в которых входной сигнал трехмерный, - пространственными, или стереосистемами. Если входной сигнал не зависит от времени, то ВИИС называют статическими, а в противном случае - динамическими; если одним из аргументов является длина волны - спектральнозональными.

Измеряемые величины могут относиться к отдельным объектам или к группе объектов, содержащихся во входном сигнале, либо ко всему входному сигналу. Объектом в этом случае называется некоторое связное подмножество точек изображения, характеризуемое некоторыми признаками (например, все точки, лежащие внутри замкнутого контура, или все точки, в которых значения сигнала полностью или частично коррелированы, в частном случае подчиняясь известному закону распределения), возможна следующая классификация измеряемых величин (рисунок 2.7):

параметры объектов, под которыми понимается значение того или иного параметра группы преобразований, переводящей исследуемый объект в некоторый заданный эталон. Например, в качестве группы преобразований может быть задана группа сдвигов на плоскости (параметры этой группы определяют координаты объекта), группа поворотов (параметры этой группы определяют ориентацию анизотропных объектов), группа растяжений и сжатий (параметры которой определяют масштаб объекта) и т. п. Другими словами, параметры объекта определяются параметрами оптимального фильтра в момент получения максимального отклика;

характеристики объектов, под которыми понимаются некоторые функционалы от функции координат, определяющей исследуемый объект, т. е. отображение, ставящее в соответствие объекту число, например площадь, периметр, факторы формы и т. п.;

распределения, под которыми понимаются статистические функции одной или нескольких переменных.

По степени участия оператора ВИИС удобно разделить на автоматические (не требующие наличия оператора), полуавтоматические, в которых оператор только принимает решения, дает целеуказания или управляет режимами работы, и метрические, в которых отсчет измеряемой величины осуществляет оператор.

В полуавтоматических системах ошибки оператора приводят только к аномально большим ошибкам (типа ложных тревог и пропусков цели), а в метрических – и к увеличению дисперсии погрешности.

По способу сканирования ТИС делятся на непрерывные и дискретные, по способу обработки сигнала – на аналоговые и цифровые, возможны и смешанные системы.

Рассмотрим наиболее употребительные признаки, по которым производится классификация ВИИС, и раскроем их содержание [8]:

- тип ТВД (монохромный, цветной, спектральный, стереодатчик);
- спектральный диапазон чувствительности ТВД (видимый, ультрафиолетовый, инфракрасный);
- тип ФЭП (с накоплением зарядов, мгновенного действия);
- стандарт разложения сигнала (вещательный, малокадровый, переменный, следящая развертка);
- измеряемый параметр (геометрический, энергетический, цветовой, динамический, числовой, композиционный);
- способ обработки сигнала (аналоговый, дискретный, цифровой, микропроцессорный, программно-реализуемый);
- область применения (научные исследования, технологические процессы, астрономия, навигация, медицина).

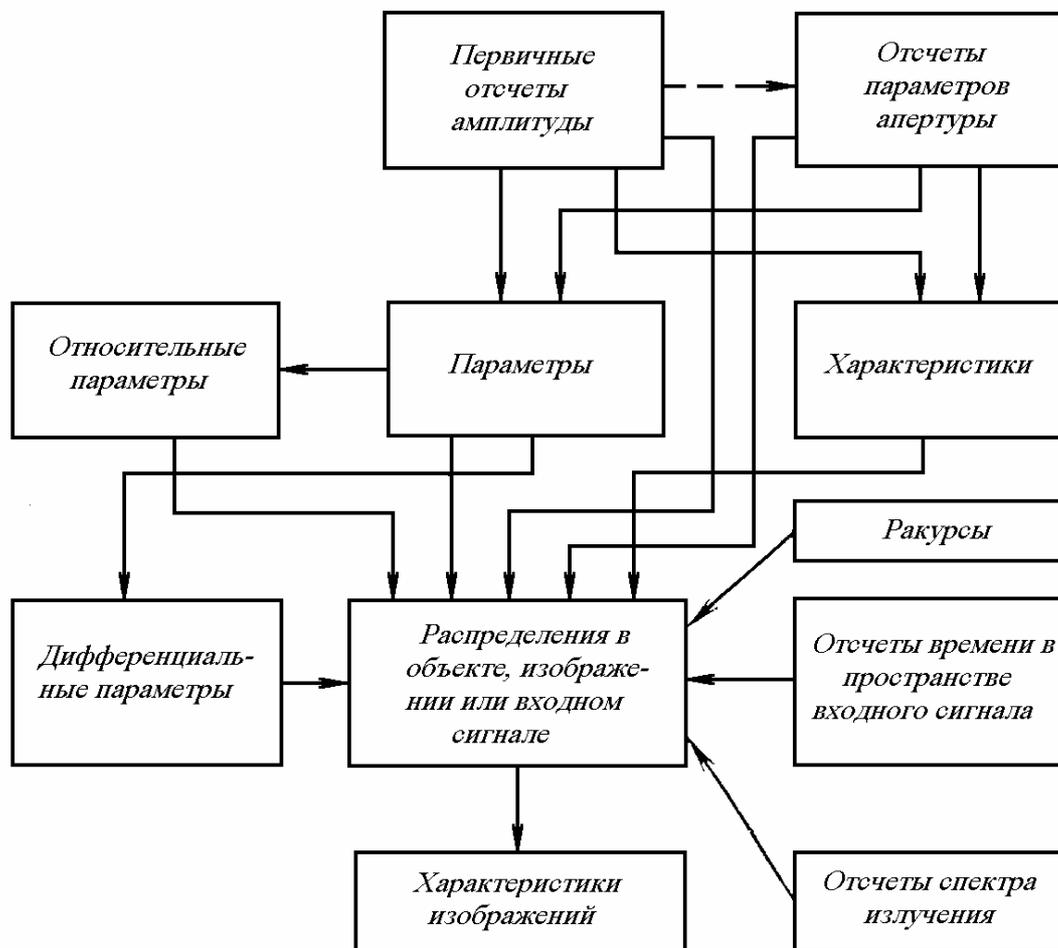


Рисунок 2.7 – Классификация измеряемых величин

Данный перечень признаков классификации ВИИС не является исчерпывающим, но в то же время его достаточно для системного восприятия (изучения) материалов учебного пособия.

При анализе ВИИС значительное внимание должно уделяться оценке точности производимых измерений. С этой целью в рамках данного учебного пособия используются методы, известные из теории ошибок и математической статистики, применение которых, однако, связано со специфическими особенностями сигнала, формируемого ТВД.

Для оценки качества и функциональных возможностей ВИИС можно использовать четыре группы параметров, важнейшими из которых являются точностные. Такие же группы, но с несколько иным составом приведены в таблице 2.1. Их можно использовать для оценки отдельных модулей, что особенно важно на стадии разработки системы [4].

Таблица 2.1

Тип параметров	Наименование параметров
Точностные	Точность измерения параметров объектов; Точность измерения характеристик; Точность измерения распределений;
Функциональные	Число измеряемых величин; Динамический диапазон измеряемых величин Быстродействие;
Эксплуатационные	Надёжность; Степень автоматизации контроля выходных параметров; Удобство работы оператора;
Технико-экономические	Габариты, масса, потребляемая мощность; Стоимость; Степень унификации.

2.8 ВИИС контроля смещения на основе ПЗС

В настоящее время активно развиваются ВИИС, использующие фотоприемники на основе приборов с зарядовой связью. Схема такой ТИС (рисунок 2.8) состоит из задатчика базового направления (ЗБН), формирующего измерительную базу, датчика, связанного с контролируемым объектом, и вычислительного устройства, предназначенного для извлечения измерительной информации [10].

ЗБН представляет собой источник когерентного или некогерентного излучения. Энергетическая ось оптического пучка принимается за измерительную базу, относительно которой определяется смещение контролируемого объекта.

Датчик структурно представляет собой телевизионную камеру, состоящую из фоточувствительного прибора с зарядовой связью (ФПЗС), преобразующего распределение освещенности в электрический видеосигнал, синхрогенератора, обеспечивающего работу ФПЗС, и видеоусилителя.

Вычислительное устройство состоит из контроллера и микроЭВМ. Контроллер включает аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), преобразующий видеосигнал в цифровую форму, схему выборки/хранения (СВХ), согласующую темпы передачи и приема информации, схему управления и плату сопряжения с ЭВМ. Оптический пучок, испускаемый источником 1 (рисунок 2.9, а), проектируется на ФПЗС 2, создавая на его поверхности непрерывное распределение освещенности. Форма распределения определяется свойствами источника и в значительно меньшей степени свойствами атмосферного тракта.

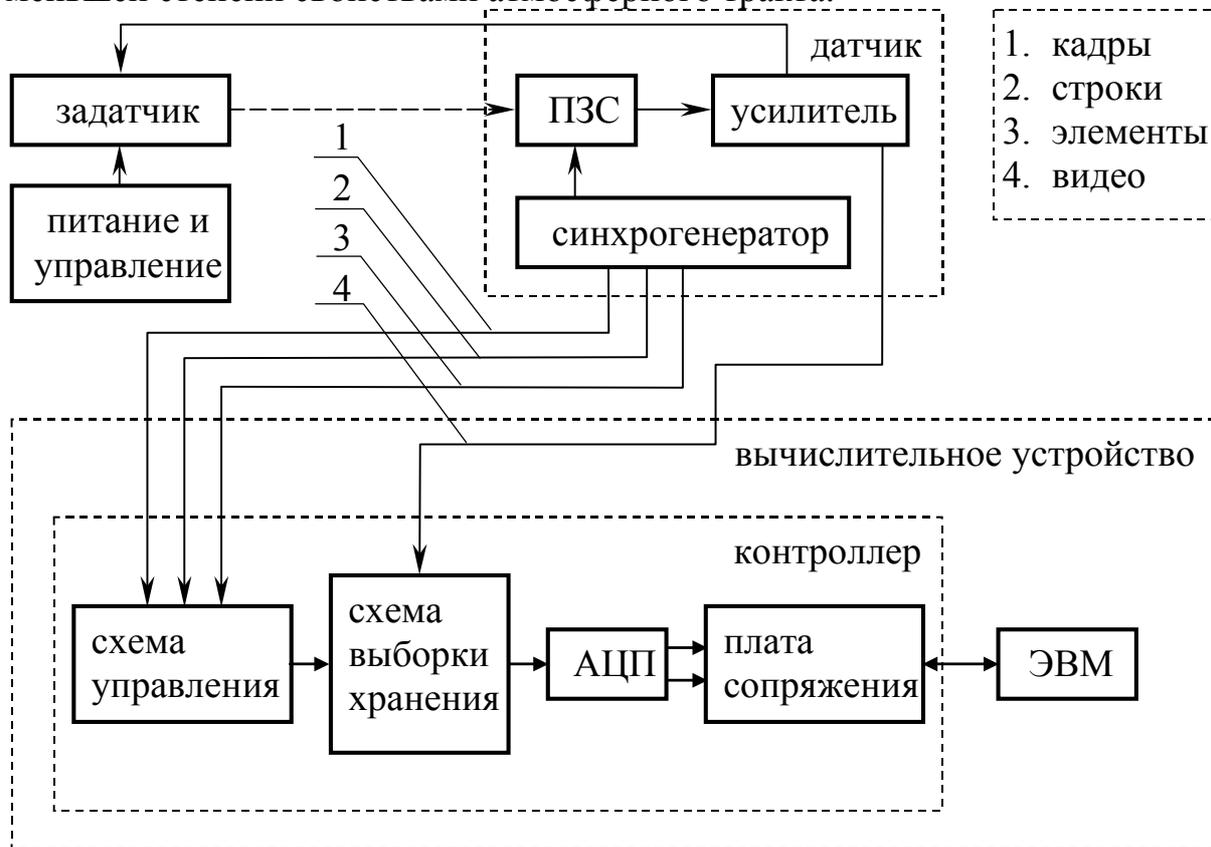


Рисунок 2.8 – Оптико-электронная система для контроля смещений на основе фоточувствительного прибора с зарядовой связью

В случае использования лазера в качестве источника распределение имеет осесимметричную колоколообразную форму с осями X' и Y' (рисунок 2.9, б), расположенными параллельно осям ФПЗС X и Y . Взаимные смещения осей (x, y) являются искомыми смещениями контролируемого объекта.

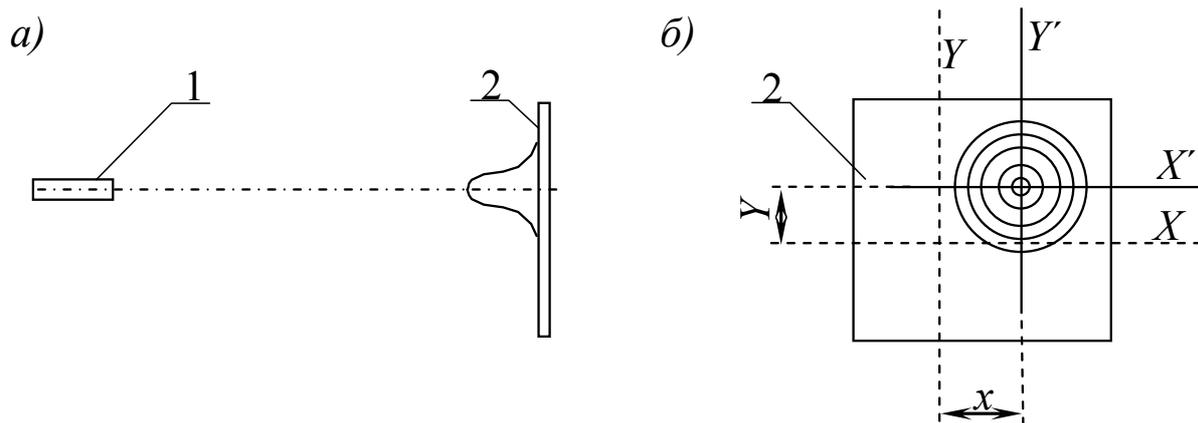


Рисунок 2.9 – Распределение освещенности на фоточувствительном приборе с зарядовой связью: *а* – схема создания облущённости на фоточувствительном приборе с зарядовой связью; *б* – форма распределения облущённости при использовании лазера

Датчик представляет телевизионную камеру и является жестко синхронизированным устройством, выдающим видеосигнал под управлением собственного синхрогенератора. Работа АЦП подчиняется определенным правилам, которым должен соответствовать видеосигнал. Такое преобразование осуществляется в СВХ. Плата сопряжения с ЭВМ является служебным устройством, необходимым для ввода информации в компьютер.

Посредством описанных устройств кадр, полученный на ФПЗС, оказывается записанным в память ЭВМ в виде массива чисел. При этом непрерывное исходное распределение оказывается преобразованным в дискретное, как по аргументу (вследствие дискретной структуры ФПЗС), так и по значению (вследствие конечной разрядности АЦП). Для определения положения осей X' и Y' исходного распределения можно применять различные процедуры. Если допустимая погрешность этого определения превышает размеры элемента ФПЗС, то достаточно найти элемент массива с наибольшим значением. В противном случае приходится применять математические методы, связанные с восстановлением непрерывного распределения по дискретному (более подробно алгоритмы интерполяции видеосигнала, получаемого с дискретной структуры ФПЗС описаны в работе [15]). Погрешность определения при этом зависит от ширины оптического пучка, шумовых характеристик ФПЗС и электронного тракта и составляет примерно 10^{-2} элемента ФПЗС или 0,1 мкм. Диапазон определяемых смещений полностью определяется габаритами ФПЗС [10].

2.9 Диссекторная система для измерения координат модулированного источника оптического излучения

Для измерения координат управляемых объектов с модулированным источником оптического излучения при наведении их на заданную

11. Импульсы сигнала поступают с усилителя 2 на блок 11, управляемый выходными сигналами схем 9, 10.

Сформированный дифференциальный сигнал ошибки подается на интеграторы сигналов ошибки 12, 13, соединенные с выходными усилителями 14, 15. На отклоняющие катушки диссектора через выходные усилители кроме сигналов ошибки поступают сигналы следящей развертки, которые формируют на фотокатод диссектора крестообразный растр. Усредняемые интеграторами сигналы ошибки осуществляют совмещение центра крестообразного растра с центром изображения объекта.

Применение модулированного источника оптического излучения позволяет повысить помехозащищенность ДИС. В активных ДИС дальнейшее повышение помехозащищенности может быть достигнуто путем синхронизации управления началом сканирующих ходов крестообразного следящего растра.

2.10 Диссекторная система для поверки манометров

Эта система предназначена для решения конкретной практической задачи – контроля манометров в процессе их сборки и поверки готовых манометров методом сравнения показаний поверяемого и эталонного манометров, хотя она может быть использована для поверки широкого класса других стрелочных приборов. Если в качестве эталонного используется стрелочный показывающий манометр, аналогичный поверяемому, но имеющий более высокую точность, то в поле зрения системы помещаются поверяемый и эталонный манометры. Изображения манометров проецируются объективом на фотокатод диссектора, производится круговая развертка изображений шкал манометров, определяются угловые положения стрелок и измеряются отклонения одной стрелки относительно другой.

Измерения производятся в нескольких точках. Если в качестве эталонного манометра используется регистрирующий манометр с цифровым выходом, то в поле зрения системы помещается поверяемый манометр, определяется угловое положение его стрелки, которое сравнивается в цифровой форме с величиной, задаваемой эталонным манометром. Отклонение стрелки относительно величины, заданной эталонным манометром, поступает в цифровой форме на индикатор, а также на выходное регистрирующее и исполнительное устройство.

Структурная схема системы для поверки манометров (рисунок 2.11) включает блок трубки 1, состоящий из объектива, диссектора и фокусирующе-отклоняющей системы, блок обработки видеосигнала 2, селекторы сигналов по длительности 3, блок разверток 4, синхрогенератор 5, блок измерения центров сигналов 6, выходные регистры 7, схему управления 8, фазиремые счетчики центров сигналов 9, схемы сравнения

временного положения центров сигналов 12, выходные суммирующие счетчики центров сигналов 11 и выходные цифроаналоговые преобразователи 10.

Для считывания информации о положении стрелки применяется развертка в виде окружности, размер и положение которой выбираются такими, чтобы отсутствовали сигналы помех от цифр, делений и других знаков шкалы. При сканировании по окружности изображение стрелки пересекается апертурой дважды: один раз пересекается изображение узкой верхней части стрелки, другой раз – изображение более широкой нижней части стрелки. Использование двух участков стрелки позволяет исключить погрешность, обусловленную неточностью совмещения центров шкалы и развертки.

За один период развертки с выхода блока обработки поступает два импульса, длительность одного из них пропорциональна узкой, длительность другого – широкой части стрелки эталонного манометра, а за второй период развертки – поверяемого манометра. В блоке обработки информации эти импульсы разделяются по двум параллельным каналам обработки сигналов – от эталонного и поверяемого манометра, затем селективируются по длительности и разделяются еще по двум одинаковым каналам обработки сигналов – от узкой и широкой частей стрелок.

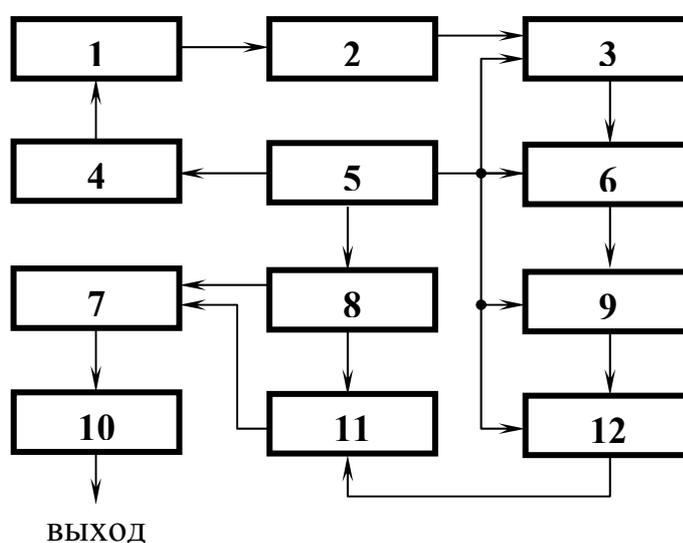


Рисунок 2.11 – Структурная схема диссекторной системы для проверки манометра

Параллельная обработка информации в четырех каналах позволяет повысить быстродействие Системы. В каждом канале определяются центры сигналов, затем они преобразуются фазируемыми счетчиками в периодические прямоугольные импульсы с частотой круговой развертки и скважностью, равной двум. Временные положения фронтов этих импульсов, непрерывно поступающих с выходов четырех каналов, соответствуют положению центров узкой и широкой частей стрелок

поверяемого и эталонного манометров. Импульсы с выходов фазированных счетчиков сравниваются схемами совпадения по временному положению. На выходе схем совпадения формируется импульс, длительность которого пропорциональна отклонению поверяемой стрелки относительно эталонной.

Сигналы с выходов схем совпадения заполняются импульсами задающего генератора частот и преобразуются в пачку импульсов тактовой частоты. Суммирующими счетчиками определяется число тактовых импульсов за один или несколько периодов развертки, составляющих цикл измерения. В конце каждого измерения число, полученное на выходе счетчиков, поступает на выходные регистры, где хранится и выдается на выход системы в виде цифрового двоичного кода. Управляющие импульсы селекторов сигналов, схемы центров сигналов, выходных счетчиков и регистров формируются схемой управления. Выходной цифровой код преобразуется ЦАП в постоянное напряжение, пропорциональное отклонению поверяемой стрелки относительно эталонной.

В макетном образце системы получена точность измерения углового положения стрелки поверяемого манометра относительно стрелки эталонного манометра 0,1...0,2% максимального угла отклонения стрелки при частоте развертки 0,5... 1,0 кГц, частоте выдачи выходной информации 16 Гц, тактовой частоте измерения временных импульсов 1 МГц и относительном отклонении стрелки до 5...10%.

2.11 Диссекторная система с радиус-векторной следящей разверткой для сортировки кристаллов

Радиус-векторная развертка позволяет довольно просто получать данные о наличии и числе углов в пределах контура объекта, оценивать значение этих углов, определять наличие прямолинейных участков контуров и радиуса кривизны криволинейных участков, вычислять коэффициент удлинения объекта, т. е. отношение радиусов описанной окружности к вписанной и т. д.

Например, определение числа углов в контуре сводится к подсчету числа максимумов видеосигнала за время одного периода обхода контура объекта. Она может быть применена для устройств сортировки и разбраковки овощей, картофеля, гороха, бобов, зерна, яиц, гранул, природных и искусственных кристаллов и т. д.

Рассмотрим структурную схему диссекторной системы с радиус-векторной следящей разверткой для сортировки природных алмазных кристаллов. Система обеспечивает сортировку кристаллов размерами 0,3...3,0 мм в зависимости от отношения экстремальных размеров хорд, проходящих через центр изображения кристалла, на четыре группы с отношением максимального размера хорд к минимальному: 1,0...1,5; 1,5...2,5; 2,5...5,0; 5,0 и более.

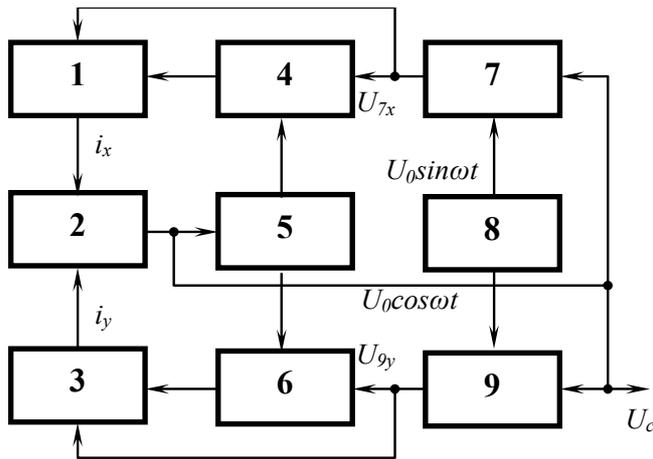


Рисунок 2.12 – Структурная схема одного канала диссекторной системы слежения с радиус-векторной следящей разверткой для сортировки алмазных кристаллов

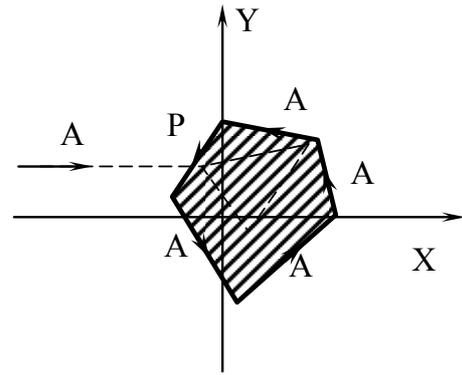


Рисунок 2.13 – Траектория движения апертуры А в режиме поиска и по фотокатоду диссектора

Минимальные и максимальные размеры определяются на основе анализа изображений трех ортогональных проекций во время пролета (при свободном падении кристалла) через поле зрения трех диссекторных датчиков. Подсвет кристаллов осуществляется тремя лазерами.

Диссекторная система состоит из трех идентичных каналов. Структурная схема одного канала системы приведена на рисунке 2.12. Она состоит из диссекторного датчика 2 (в него входят диссектор с ФОС, высоковольтный блок питания диссектора, усилитель отклоняющих сигналов по каналам X и Y и видеоусилитель), сумматоров 1 (канала X) и 3 (канала Y), интеграторов 4 (канал X) и 6 (канал Y), блока поиска 5, аналоговых умножителей 7 (канал X) и 9 (канал Y), генератора 8 сигналов $U_0 \sin \omega t$ и $U_0 \cos \omega t$. В режиме обнаружения блоком поиска и интеграторами осуществляется формирование пилообразных сигналов и соответствующее сканирование фотокатода апертурой. При заходе апертуры A (рисунок 2.13) на изображение объекта (например, в точку P) возникает напряжение видеосигнала U_c , которое отключает блок поиска и переводит устройство в режим слежения. Напряжение на выходе интеграторов в этот момент представляет координаты первоначального центра слежения (точка P). Появление видеосигнала U_c образует на выходах умножителей 7 и 9 напряжения U_{7x} , U_{9y} , которые через отклоняющую систему вызывают отклонение апертуры A диссектора от точки P к контуру изображения и слежения ее по контуру.

С началом слежения путем интегрирования напряжений U_{7x} и U_{9y} осуществляется автоматическое совмещение центра слежения, первоначально находившегося в точке P , с центром тяжести изображения (точкой C). По окончании интегрирования постоянные напряжения на

выходах интеграторов представляют координаты центра тяжести изображения. Значение сигнала в каждый момент времени пропорционально радиус-вектору, т. е. расстоянию от центра объекта до контура. Для каждого кристалла на основе анализа трех изображений проекций определяются максимальное значение U_{cmax} и минимальное U_{cmin} , соответствующие экстремальным размерам кристаллов, и в зависимости от отношения $U_{cmax}: U_{cmin}$ кристалл направляется в один из четырех приемников, каждый из которых накапливает определенную группу кристаллов. Минимальное время пролета изображения кристалла по площади фотокатода, при котором еще достигается хорошее качество слежения, составляет 1 мс, что соответствует быстрдействию устройства электронной сортировки до 1000 кристаллов в секунду.

2.12 Видеоинформационная измерительная система со следящим ТВД

Основной особенностью преобразователей свет-сигнал с накоплением энергии по сравнению с датчиками мгновенного действия является накопление преобразованного в электрический сигнал оптического изображения в течение времени кадра. Такие фото датчики обладают высокой чувствительностью и большой разрешающей способностью, и поэтому диапазон их использования достаточно широк (вещательное, промышленное, измерительное телевидение и т. д.).

ВИИС, использующие в датчике ФЭП с НЭ, находят применение в устройствах наблюдения, ориентации, навигации и в системах технического зрения роботов. Эти системы могут работать как при прямом, так и при обратном контрастах изображения объекта относительно фона. В зависимости от размеров изображения объектов в плоскости ФЭП с НЭ можно выделить ВИИС, работающие по малоразмерным и по протяженным объектам. Следует отметить, что в этом случае классификация ВИИС по размеру объекта наблюдения ведется по его физическому размеру с учетом дальности наблюдения и угла поля зрения оптической системы. Различают также наблюдение с помощью ВИИС за группой объектов либо за указанным объектом.

Обобщенная структурная схема большинства ВИИС может быть приведена к виду, изображенному на рисунке 2.14. Такая система может работать как в автоматическом (полуавтоматическом) режиме, так и в режиме управления системой с участием оператора.

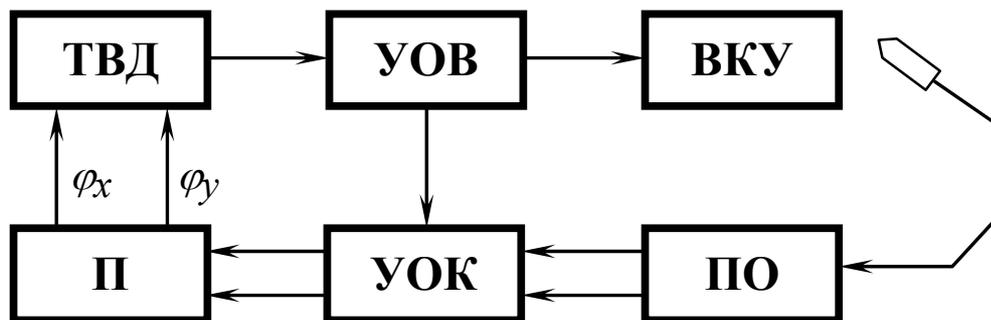


Рисунок 2.14 – Структурная схема ВИИС на приборах с накоплением энергии

Телевизионный датчик преобразует в электрический сигнал оптическое изображение участка пространства, размеры которого определяются параметрами оптической системы. Качество проецирования трехмерного оптического изображения с различной дальности на плоскость ФЭП с НЭ зависит от ракурсов объекта и фоновых образований, а также от резкости в оптической системе. Таким образом, азимутальный угол φ_x в системе преобразуется в растровой системе в направление X (как правило, развертку по строке), а угол места φ_y – в направление Y (развертку по кадру). Оптический спектр излучения объекта и фоновых образований в выбранном диапазоне (видимом, инфракрасном, ультрафиолетовом) преобразуется с помощью ФЭП с НЭ в электрический сигнал, причем возможно спектрально-зональное преобразование информации с помощью параллельных либо последовательных систем.

Последовательная телевизионная спектрально-зональная система восприятия информации строится с помощью набора сменных светофильтров, которые поочередно выделяют заданные участки оптического спектра и подают эти изображения на фотопреобразователь. В параллельной спектрально-зональной системе изображение в широком оптическом спектральном диапазоне проецируется на фотопреобразователь, обладающий свойствами селекции сигнала по оптическому спектру излучения. Традиционным при построении спектрально-зональных параллельных датчиков является подход, принятый в цветном вещательном телевидении, когда используется несколько фотопреобразователей с соответствующими оптическими фильтрами либо один фотопреобразователь со сложным штриховым фильтром. Следует отметить, что основные цвета в данном случае выбираются из условий наилучшего наблюдения за объектом и несвязаны непосредственно с традиционными цветами в колориметрии, так как излучение в этих участках оптического спектра во многих случаях является невидимым для человека. В то же время при отображении электрического сигнала от спектрально-зонального ТВД на экране видеоконтрольного устройства можно использовать синтезированные цвета, наиболее удобные для восприятия оператором.

Основной задачей ВИИС является измерение координат заданного объекта по видеосигналу от ТВД и обеспечение совмещения оптической оси системы с направлением на объект. С помощью «светового пера» оператор выбирает необходимый объект для слежения либо корректирует работу автоматического обнаружителя в системе. Световое перо состоит из фотодиода, усилителя, порогового устройства, дифференцирующей схемы и селектора импульсов. При поднесении его к участку изображения на экране ВКУ на выходе схемы вырабатывается импульс, временное положение которого по строке и кадру соответствует фрагменту изображения, на который направлено перо. Используя выходной импульс светового пера как целеуказание для установки начального положения строка, оператор может переводить систему в режим слежения за заданным объектом.

Для повышения помехозащищенности целеуказания от светового пера используют временное стробирование выходного сигнала, а для надежного срабатывания на «темных» участках изображения в ВКУ вводится импульсный подсвет всего изображения. Пульт управления позволяет оператору управлять положением платформы с ТВ-датчиком вручную и корректировать параметры и режимы работы системы.

Устройство обработки видеосигнала (УОВ) по заданным признакам объекта, таким, как цвет, размер, форма и яркость, выполняет задачу выделения полезного сигнала из шумов и помех. Наиболее распространенными способами обработки видеoinформации являются: сравнение сигналов, соседних элементов, строк и кадров; дифференцирование; выделение сигнала заданного уровня, цвета и т.д. Обработанный (отселектированный от фона) видеосигнал подается на вход устройства определения координат объекта и, кроме того, может выводиться на экран ВКУ.

По способу формирования сигнала ошибки выделяют устройства определения координат (УОК) корреляционного и дискриминационного типа. В корреляционных устройствах вычисляются координаты максимума функции корреляции текущего и эталонного изображений, причем эталонное изображение в процессе слежения за объектом может периодически корректироваться. Корреляционные устройства позволяют получить высокую точность измерения координат малоконтрастного протяженного стационарного объекта. При определении координат малоразмерного объекта в ВИИС используются дискриминаторы с различными (прямоугольная, пилообразная, треугольная) измерительными функциями, работающие по контрасту сигнала от объекта относительно фона.

Растровые ВИИС, как правило, используют пространственное стробирование обнаруженного (указанного) объекта. Размеры строка в строчном и кадровом направлениях выбираются исходя из размеров

изображения объекта и его динамических свойств. Результаты однократных измерений координат объекта, получаемых в каждом кадре телевизионного изображения, в устройствах следящего типа обрабатываются с помощью траекторного фильтра, что позволяет следить за объектом по сглаженной траектории. Устройства определения координат объекта, в которых не вводится корреляция покадровых измерений, принято называть устройствами сопровождающего типа. В этом случае измерение координат объекта в предыдущем кадре используется лишь для установки строка в текущем кадре изображения, а траекторная фильтрация результатов измерений не выполняется.

Измеренные координаты объекта по строке и по кадру в виде двухполярных электрических сигналов подаются на привод платформы (П). Платформа поворачивается на необходимые углы по φ_x и φ_y , уменьшая тем самым рассогласование электрических центров раstra и объекта. Как правило, положение электрического центра раstra выбирают совпадающим с оптической осью системы. В этом случае положение электрического центра объекта (результат измерения координат объекта по видеосигналу) дает направление на него в телесном угле поля зрения ВИИС. Таким образом в ВИИС с ТВ-датчиком, который расположен на управляемой платформе, имеется два следящих контура – по каждой координате. Внутренний следящий контур совмещает центры объекта и строка, а внешний контур – центры строка и раstra ВИИС. В ВИИС с одним ТВ-датчиком нельзя одновременно реализовать Высокую точность измерения координат объекта и его быстрое обнаружение в широком угле поля зрения.

2.13 Видеоинформационная измерительная система с обзорным и следящим ТВД

В ВИИС с двумя ТВД реализуется быстрое обнаружение объектов в широком угле поля зрения обзорного ТВД и точное измерение координат объектов в узком угле поля зрения следящего ТВД. В этом случае по видеосигналу обзорного ТВД в ВИИС реализуется поиск объекта и приведение его к центру поля зрения системы с помощью привода платформы. Следящий ТВД совместно с обзорным закреплен на платформе, и их оптические оси съюстированы таким образом, чтобы в рабочем диапазоне дальностей до объекта центры полей зрения ТВ-датчиков были совмещены. Таким образом, по видеосигналу следящего ТВД в узком угле поля зрения можно точно измерить координаты объекта, обнаруженного в широком угле поля зрения.

Обозначим угол поля зрения обзорного ТВД через α , а следящего ТВД через β и изобразим схематически изображения и перемещение углов полей зрения в пространстве (рисунок 2.15). Как правило, угол α в ТИС выбирается в 5...10 раз больше угла β , причем α лежит в интервале

$10...100^\circ$, а β – в интервале $1...10^\circ$. После обнаружения объекта в поле зрения обзорного датчика и определения его координат по строке (X_0) и кадру (Y_0) производится приведение центра поля зрения системы в заданный центр системы координат. Приведение объекта наблюдения к оптическому центру системы может выполняться в командном либо следящем режиме. В командном режиме производится перемещение платформы с ТВ-датчиками на заданные азимутальный угол φ_{x0} и угол места φ_{y0} , однозначно связанные со значениями координат объекта в обзорной системе по строке X_0 и кадру Y_0 соответственно. После окончания режима приведения объекта к центру система переключается в режим слежения за объектом по видеосигналу следящего ТВД. После приведения к центру устанавливается режим повторного обнаружения объекта, что затрудняет ввод системы в режим слежения.

Более предпочтительным является следящий режим приведения объекта к центру поля зрения. В этом случае фрагмент изображения с координатами центра X_0 и Y_0 стробируется и по видеосигналу от обзорного ТВД производится вычисление координат объекта в каждом кадре изображения.

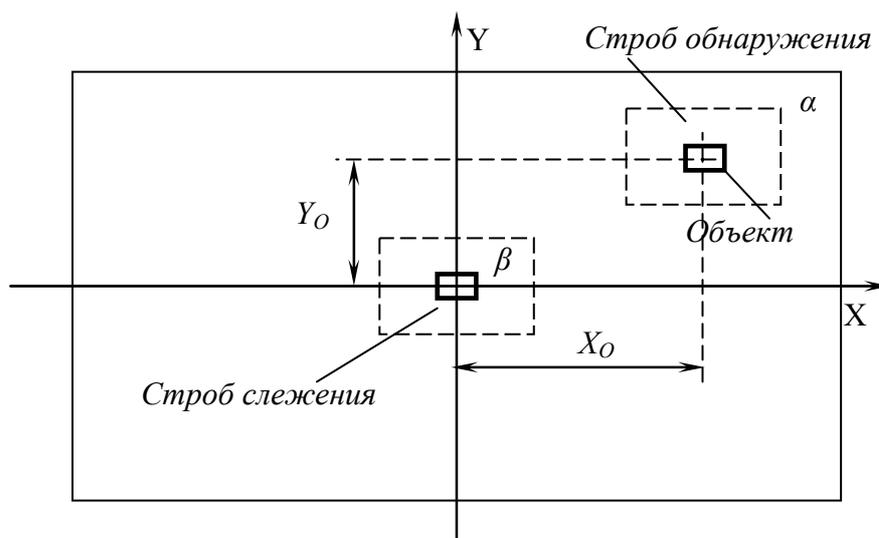


Рисунок 2.15 – Изображение углов поля зрения обзорного и следящего ТВД

Эти команды подаются для управления приводом платформы, и после окончания режима приведения объекта к центру поля зрения системы возможен переход в режим слежения по видеосигналу от следящего ТВД без повторного обнаружения. Следует отметить, что даже при неподвижном объекте наблюдения в режиме приведения к центру его изображение в плоскости фотопреобразователя становится подвижным из-за движения платформы, что вносит дополнительную ошибку при слежении за объектом. При наличии в составе ВИИС датчиков положения платформы по углу места и азимуту эти возмущения (в соответствующем

масштабе) можно подавать в виде компенсирующих сигналов во внутренний следящий контур для детерминированной коррекции положения строба.

На рисунке 2.16 приведена структурная схема ВИИС с двумя ТВД, реализующая описанные режимы. К основным режимам работы системы относятся: поиск объекта в поле зрения обзорного ТВД 2 (режим 1); командный, или следящий, режим приведения объекта к центру поля зрения (режим 2); слежение за объектом в поле зрения следящего ТВД 1 (режим 3); режим управления приводом 6 по сглаженным значениям координат при потере объекта (режим 4). Например, режим потери объекта устанавливается в случае, когда заданное число кадров сигнал от объекта отсутствовал в следящем стробе. Длительность режима потери объекта определяется исходя из априорных данных о модели его движения и достоверности сглаженной информации на выходе экстраполирующего фильтра 7.

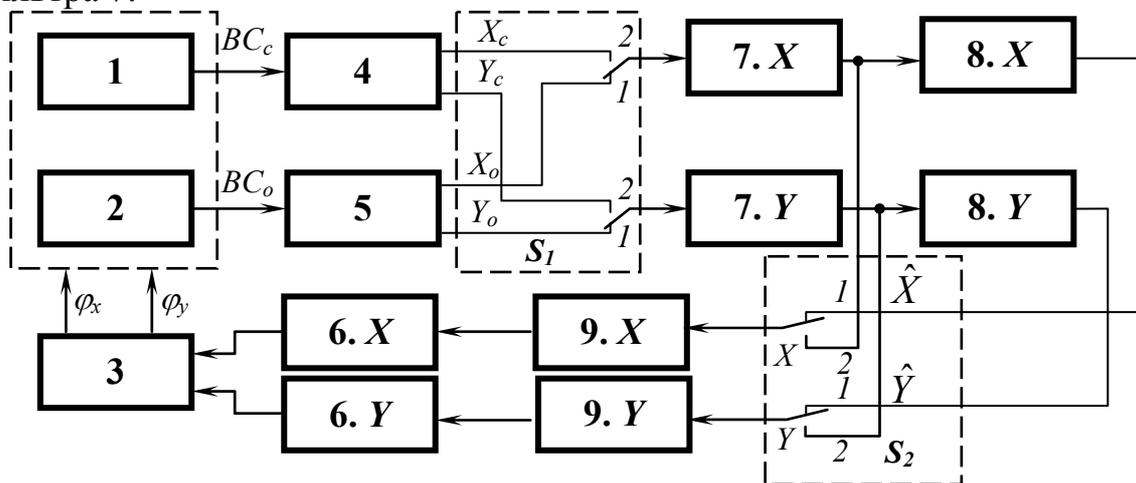


Рисунок 2.16 – Структурная схема ТИС с обзорным и следящим ТВД 1-следящий ТВД; 2-обзорный ТВД; 3-платформа; 4-устройство определения координат объекта; 5-устройство поиска объекта; 6-привод; 7-экстраполятор; 8-фильтр; 9-усилитель.

В режимах 1 и 2 переключатели устанавливаются в первом положение ($S1-1, S2-1$), и обработка видеосигнала, а также управление приводом производится только по информации от обзорного ТВД – видеосигналу BC_o . В режиме 3 обработка видеосигнала и управление приводом выполняются по информации от следящего ТВД BC_c и переключатели должны быть установлены в положения $S1-2$ и $S2-1$. В режиме 4 сглаженные координаты \hat{X} и \hat{Y} с выходов фильтров подаются на управление приводом и оптическая ось системы продолжает двигаться заданное время по экстраполированной траектории (переключатели 1 и 2 устанавливаются в положение 2).

Следует отметить, что в режиме 1 на выходе устройства поиска объекта (до его обнаружения) координаты X_o и Y_o должны быть равны

нулю для того, чтобы проводить обнаружение объекта при неподвижной платформе. В режиме 4 координаты X_c и Y_c с выхода устройства определения координат 4 объекта должны фиксироваться по их последним значениям в режиме слежения. Если через заданное время в режиме 4 слежение за объектом не возобновляется, то ВИИС переходит в режим поиска объекта по сигналу BC_c , а в случае необходимости – по сигналу BC_0 .

Наиболее длительным является режим слежения за объектом по сигналу BC_c . В этом случае производится точное измерение координат подвижного объекта и совмещение оптической оси системы с направлением на него. Одновременно с режимом слежения по BC_c , в системе возможно выполнение режима поиска объекта по BC_0 и при необходимости смены целеуказания автоматически либо с помощью оператора. Следует отметить, что реализация совмещенного режима поиска с режимом слежения затруднена из-за движения платформы и усложнения алгоритмов обработки видеoinформации в устройстве поиска объекта.

Техническая реализация блоков поиска объектов и определения их координат требует включения в их состав устройств предварительной обработки видеосигнала, а также запоминающих и решающих устройств, что наиболее полно и универсально реализуется на цифровых элементах.

2.14 Структура цифровых устройств определения координат объекта

Рассматривая аналоговые и цифровые варианты построения устройств определения координат объектов, к достоинствам последних можно отнести высокую стабильность и точность, простоту изменения характеристик и возможность автоматической перестройки параметров, а также их техническую реализацию с использованием стандартных вычислителей. К недостаткам цифровых устройств, по сравнению с аналоговыми, относятся их аппаратурная сложность и дополнительные источники ошибок измерения, обусловленные шумами квантования видеосигнала по времени и уровню и шумами округления в измерительных и фильтрующих узлах.

При разработке цифровых телевизионных следящих систем (ТСС), являющихся одной из разновидностей ВИИС, возможны варианты их построения в виде автоматов без буферизации массива видеоданных и с запоминанием необходимого массива видеоданных. В первом случае цифровые автоматы, как правило, работают по бинарному видеосигналу и реализуют операцию дискриминирования в процессе формирования раstra изображения. Такие варианты цифровых ТСС достаточно просты в реализации, но их возможности по адаптации алгоритмов обработки к

входным условиям ограничены, так как обработка данных жестко связана с разверткой изображения.

В цифровых ТСС с запоминанием массива видеоданных, подлежащих обработке, предусмотрена возможность оперативного изменения алгоритмов обработки видеoinформации и настройки их параметров. В этом случае цифровые видеоданные, содержащие информацию об объекте, могут обрабатываться как аппаратно, так и программно в вычислителе в любой последовательности и в несколько приемов.

Рассмотрим варианты реализации цифровых ТСС без буферизации массива видеоданных. В основу работы цифровых ТСС положен принцип измерения временных интервалов путем счета измерительных импульсов, жестко связанных с импульсами строчной и кадровой частот. Основным структурным компонентом ТСС такого типа является фазируемый счетчик с произвольным коэффициентом пересчета и входными логическими схемами, позволяющими однотипно управлять положением выходного импульса счетчика относительно фиксированного положения строчных и кадровых синхроимпульсов. Устройство состоит из двух идентичных каналов слежения по строке и кадру (X и Y). Ведомый режим системы обеспечивается задающим устройством. Рассмотрим работу цифровых устройств с различными алгоритмами выделения сигнала ошибки (СО) по структурной схеме, приведенной на рисунке 2.17.

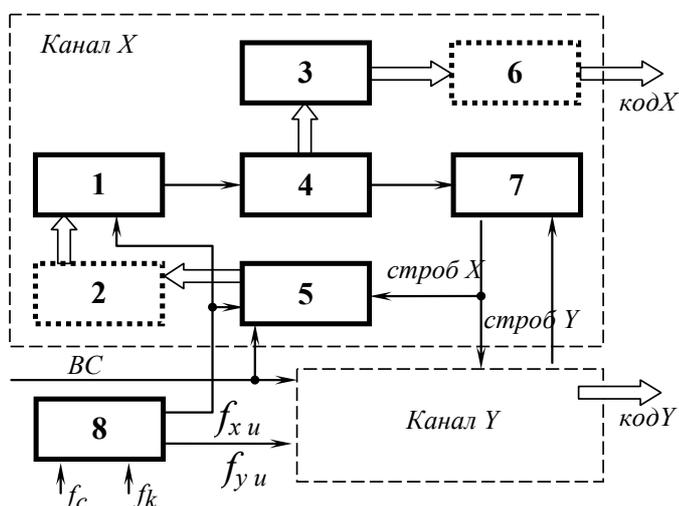


Рисунок 2.17 – Структурная схема цифрового устройств определения координат объекта 1-схема ввода сигнала ошибки; 2-цифровой фильтр II; 3-схема фиксации координаты; 4-фазируемый счетчик; 5-схема определения и хранения СО; 6-цифровой фильтр I; 7-схема выборки строга

Цифровая ТСС с непосредственным измерением СО. В момент прихода видеоимпульса от объекта измерительные импульсы с задающего устройства подаются на счетчики по строке и кадру, далее работающие в

режиме непрерывного счета. Необходимое упреждение выработки стробов X и Y задается начальными числами, записанными в счетчики, в соответствии с длительностью стробов. При неподвижном объекте импульсы со счетчиков, определяющие положение участка стробирования, генерируются с неизменной фазой. Схемы выработки стробов X и Y представляют собой триггерные счетчики, по коэффициенту пересчета которых задается длительность измерительных полустробо́в по строке и кадру, равная $\tau_{nc} = K_0/f_u$, где τ_{nc} – длительность полустробо́в; f_u – частота измерительных импульсов; K_0 – коэффициент пересчета. Абсолютное значение и знак СО определяются раздельно и хранятся в течение кадра. Дополнительные коды модулей рассогласования центров стробов X и Y и нормированного измерительной частотой видеоимпульса от объекта записываются в счетчики хранения СО. Емкость счетчиков хранения СО выбрана равной емкости счетчиков в схемах выработки стробов, что упрощает считывание СО по строке и кадру.

Во время обратного хода по кадру происходит коррекция фаз счетчиков X и Y путем коммутации сигналов на входах первого и второго триггеров счетчиков. В результате производится «обогащение» либо «обеднение» ряда измерительных импульсов и как следствие коррекция рассогласований, появившихся за время кадра. При таком способе записи и считывания СО возможно изменение коэффициента передачи в контуре слежения путем изменения частот записи и считывания СО либо путем деления кода рассогласования на целые числа.

Перепись абсолютного значения и знака координат X и Y относительно центра раstra в схемы фиксации координат, состоящие из триггерных ячеек памяти, происходит при динамической предшествующих фаз.

Цифровая ТСС с весовыми частотами. Рассмотрим особенности построения варианта ТСС, следящей за энергетическим центром объекта по бинарному видеоимпульсу с одновременным определением и вводом СО в счетчики. Для упрощения системы, реализующей этот алгоритм, должна быть несколько изменена схема задающего устройства. Вводятся дополнительные частоты строчных и кадровых измерительных импульсов, деля их на целые числа, получаем опорные и весовые частоты, что позволяет с помощью счетчиков одновременно генерировать стробы X и Y и производить коррекцию их положения по разности полуплощадей объекта в первом и втором полустробо́в. Для уменьшения вероятности срыва слежения в переходном режиме из периферии строба введены двойные весовые коэффициенты. При относительно низких измерительных частотах в системе возникают автоколебания из-за различных значений частот измерения в первом и втором полустробо́в. Следует отметить, что в канале X коррекция фазы счетчика происходит несколько раз за кадр.

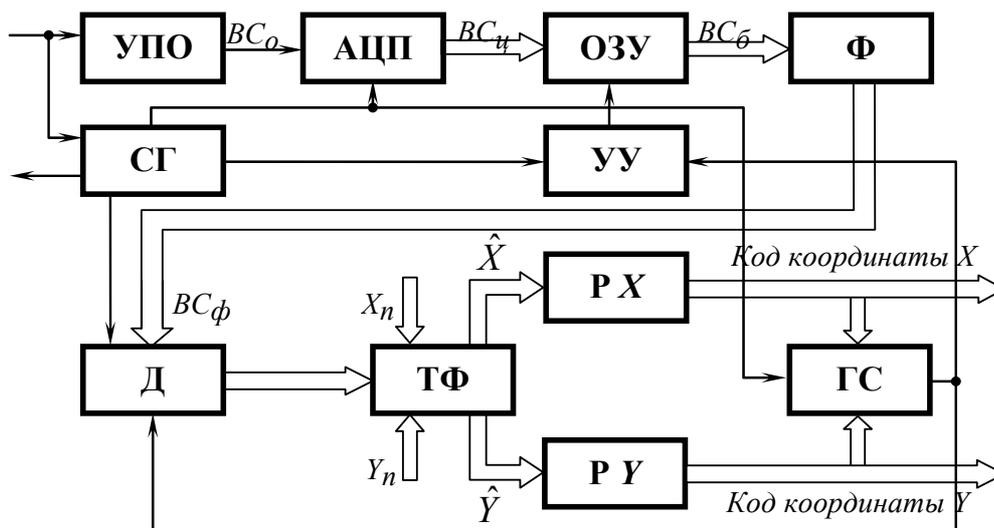


Рисунок 2.18 – Структурная схема цифровой ТСС с запоминанием массива видеоданных

Цифровая ТСС с нормированием СО. Структура цифровой ТСС, следящей за энергетическим центром объекта по бинарному видеосигналу с вводом СО по X и Y один раз за кадр, отличается от ранее рассмотренных наличием более универсальной схемы определения СО. В канале X сигнал ошибки выделяется на реверсивном счетчике, затем производится операция деления показаний счетчика на удвоенное число строк, в которых находится объект, и во время обратного хода по кадру результат деления вводится в счетчик. Таким образом, этот способ выделения СО позволяет получить усредненные (в пределах суммарного строка) значения рассогласований по строке и кадру. Задающее устройство, обеспечивающее согласованную работу ТСС с телевизионным датчиком, аналогично устройству цифровой ТСС, работающей по первому видеоимпульсу от объекта.

Цифровая ТСС с запоминанием массива видеоданных приведена на рисунке 2.18.

Видеосигнал с выхода ТВД подается на вход устройства предварительной обработки видеосигнала (УПО), которое реализует функцию выделения сигнала от объекта и наилучшим способом вписывает обработанный видеосигнал (BC_0) в разрядную сетку аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В АЦП производится квантование видеосигнала по времени и уровню. Частота дискретизации в АЦП выбирается исходя из ширины полосы частот сигнала BC_0 , а необходимое число уровней квантования по амплитуде исходя из заданной точности измерения координат объекта. В ОЗУ запоминается цифровой массив видеоданных в строке для последующей обработки и оценки СО по X и Y . После окончания строка буферизированный цифровой видеосигнал BC_0 считывается из ОЗУ, обрабатывается фильтром (Φ) и поступает на вход дискриминатора (Δ) для определения сигнала ошибки по строке (ΔX).

Затем выполняется второй цикл считывания массива BC_0 из ОЗУ, его фильтрация и определение сигнала ошибки по кадру (ΔY). При необходимости возможно многократное считывание информации из ОЗУ и ее обработка по заданным алгоритмам.

Сигналы ошибки по строке и кадру поступают на траекторный фильтр (ТФ), в котором производится их сглаживание и сложение с предыдущими значениями измеренных координат объекта. В начальный момент времени при переходе ТСС в режим слежения в траекторный фильтр записываются значения координат объекта (X_n и Y_n), полученные в режиме обнаружения (поиска объекта). С выхода траекторного фильтра измеренные координаты объекта по строке и кадру (\hat{X} и \hat{Y}) подаются в регистры (Р) и запоминаются в них. По кодам координат в каждом кадре вырабатывается стробирующий импульс, который перемещается по растрю в соответствии с измеренными в дискриминаторе сигналами рассогласования центров изображения объекта и строба.

Синхрогенератор (СГ) устройства вырабатывает последовательности тактовых, строчных и кадровых импульсов и, кроме того, обеспечивает ведомый либо ведущий режимы работы цифровой ТСС по отношению к ТВД. В ведущем режиме работы ТСС с выхода синхрогенератора подается сигнал синхронизации (СС) ТВ-датчика, что обеспечивает согласованную работу всех узлов цифровой системы. В ведомом режиме работы по видеосигналу ТВД синхрогенератор обеспечивает привязку частоты и фазы выходных последовательностей импульсов к синхронизирующим импульсам в видеосигнале. Устройство управления ОЗУ по сигналам с генератора строба (ГС) и синхрогенератора обеспечивает согласованную с разверткой ТВД запись и считывание информации.

Операции фильтрации буферизированного видеосигнала, дискриминирования и траекторной фильтрации можно выполнять в виде подпрограмм в вычислителе, а не аппаратно, как показано на рисунке 2.18. В этом случае выход ОЗУ должен быть через соответствующий интерфейс соединен с вычислителем, в котором содержится рабочая программа обработки видеоданных. Возможно разделение операций обработки видеоданных в цифровой ТСС на выполняемые аппаратно и программно. При заданном типе вычислителя, исходя из его производительности и периода замыкания следящего контура, определяются возможности выполнения им программной части алгоритмов обработки информации в ТСС. Как правило, траекторная фильтрация и формирование сигналов для управления приводом, выполняются вычислителем, а фильтрация массива видеоданных и дискриминирование требуют применения дополнительных аппаратных средств в виде сигнальных процессоров.

2.15 ОЭС контроля деформации

Рассмотрим схему построения оптико-электронной системы контроля деформации (ОЭСКД) основанную на методах автоколлимации сходящихся пучков и авторефлексии (рисунок 2.19).



Рисунок 2.19 – Схема измерений

В схеме измерительная база создается блоком 1, расположенным в точке А и содержащим также приемное устройство. На ОК в точке В размещается отражатель 2, который возвращает излучение на приемное устройство блока 1. Приемное устройство регистрирует величину смещения отражателя 2 относительно базы В.

В ОЭСКД на МФП 1 (рисунок 2.20, а), находящийся в приёмно-передающем блоке 2, через телеобъектив 3 и светофильтр 4 посредством отражателя 8 проецируются изображения двух полупроводниковых излучающих диодов (ПИД). Для обеспечения требуемого диапазона смещений по дистанции в ИК используются две пары ПИД 5 и 6, закрепленных на плоскопараллельной пластинке. Трипельпризма 8 закрепляется в центроискателе 9, который устанавливается на ОК. Особенностью центроискателя является возможность замены микрометрических нутромеров (набор проставок различной длины и микрометрических головок) 10 – это позволяет производить измерения на турбоагрегатах различного диаметра и типа, что является необходимым требованием по унификации системы контроля.

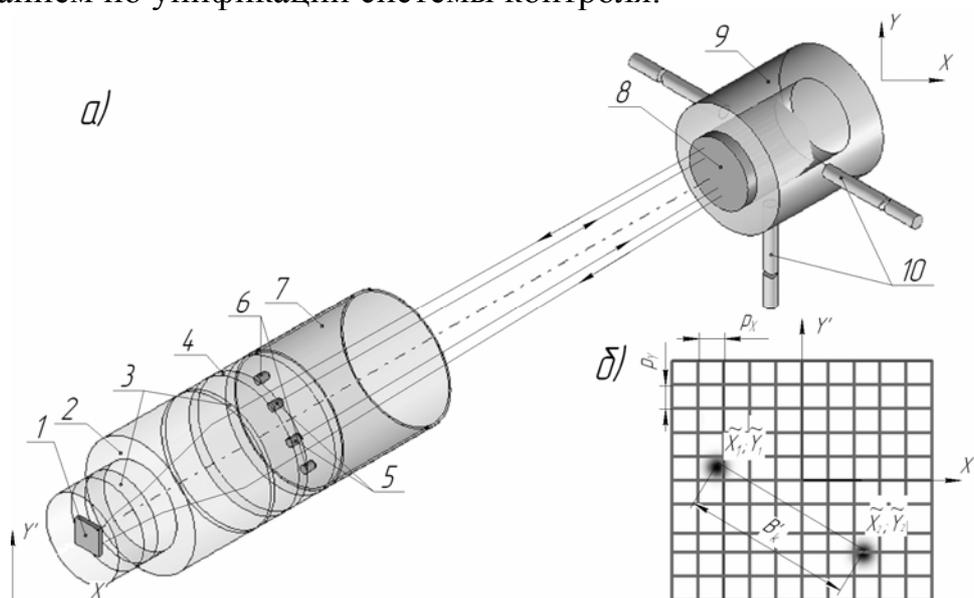


Рисунок 2.20 – Принцип работы ОЭСКД

Стоит отметить универсальность предлагаемой ОЭСКД, которая обеспечивается возможностью преобразования авторефлексионной схемы в коллимационную, путем выноса марки с ПИД из зрочка ОЭСКД и замены ей отражателя. При этом обеспечивается вдвое увеличение рабочей дистанции, но при этом вдвое уменьшается чувствительность.

Обобщённая схема реализации ОЭСКД изображена на рисунке 2.21.

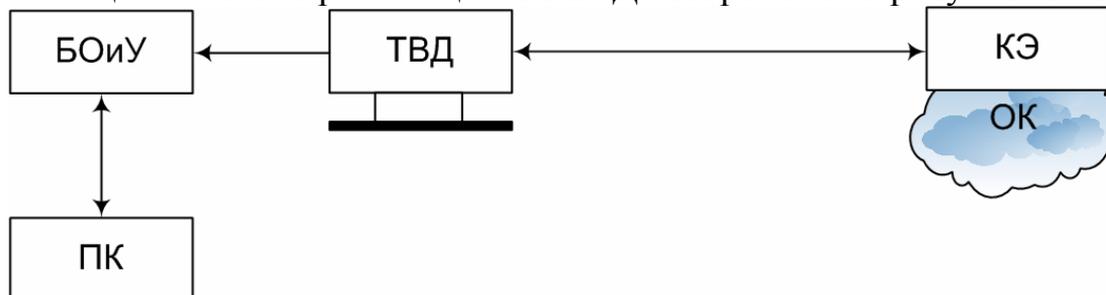


Рисунок 2.21 – Обобщенная схема реализации ОЭСКД

Под ТВД следует понимать телевизионный датчик, БОиУ – блок обработки и управления, ПК – персональный компьютер. В общем случае ТВД должен выполнять следующие операции:

- базирование двух пар ПИД, определяя метод авторефлексии и автоколлимации сходящихся пучков;
- фокусировка оптического (и ИК) излучения на МФП;
- формирование и сохранение неизменной основной измерительной базы измерений – визирной линии объектива;
- формирование измерительной информации о местоположении координат изображений пары ПИД в плоскости МФП (аналоговый видеосигнал, информация в цифровом виде и другое).

БОиУ в общем случае проектирования обязан:

- осуществлять преобразование измерительной информации с ТВД (оцифровка видеосигнала, сжатие и т.д.);
- управление работой ПИД;
- поддержание протокола передачи информации от ПК к БОиУ и обратно и преобразование измерительной информации и результатов ее предварительной обработки к требованиям выбранного протокола.

ПК является единственным узлом, инициирующим измерительный процесс (в данном случае предполагается использование ОЭСКД для работы с оператором, т.к. возможен вариант использования прототипов системы для автономных адаптивных систем неразрушающего контроля деформаций крупногабаритных сооружений, что предполагает принятие решений и выдачу команд к исполнению системой, в этом случае ПК будет заменен на узел «принятия решений») под управлением оператора. ПК выполняет следующие операции:

- обработка измерительной информации;

- инициирование измерительного процесса под управлением оператора;
- формирование базы данных измерений;
- приведение результатов измерений к удобному для оператора виду;
- по необходимости, передача результатов измерений по сети передачи данных в центральный блок, коммутирующий распределенные измерительные каналы.

Посредством оптического канала (ТВД и КЭ) на МФП регистрируются координаты изображений ПИД, далее информация по каналу передачи данных (КПД) поступает в БОиУ (БОиУ может отсутствовать в случае использования КМОП-приемника, либо задачи, решаемые им могут быть разнесены как на ТВД, так и на ПК), после чего измерительная информация по КПД передается на ПК и обрабатывается.

Предлагается рассмотреть структурную схему ОЭСКД на базе ФПЗС приемника, т.к.:

- схема построения на базе ПЗС получила широкое распространение при реализации систем подобного типа;
- существует возможность подробно описать функции каждого звена системы и роль в общем процессе. При сравнении со схемой построения на базе КМОП-приемников, основные функции являются аналогичными, происходит их перераспределение между исполнительными узлами и элементами. Также возможны случаи большей автоматизации измерения с объединением звеньев в комплексы и узлы, но стоит отметить, что основные функции (см. выше) остаются неизменными.

На рисунке 2.22 представлена структурная схема построения ОЭСКД. ОЭСКД состоит из двух главных блоков –ТВД и БОиУ.

Оптическое излучение через оптический фильтр (ОФ) поступает на входной зрачек оптической системы (ОС) и проецируется на ФПЗС. Генератор тактовых импульсов (ГТИ1) выдает опорные электрические сигналы на синхрогенератор (СГ) и видео усилитель (ВУ), в котором осуществляется привязка уровня черного и фиксация уровня видеосигнала, к информационной составляющей видеосигнала с ФПЗС замешивается синхросмесь с СГ.

Стандартный видеосигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) блока предварительной обработки изображения (БПОИ). Под управлением ГТИ1 и управляющего сигнала микроконтроллера (МК1) осуществляется аналого-цифровое преобразование поступившего с ТВД аналогового видеосигнала.

Цифровая информация записывается в оперативно-запоминающее устройство под управлением блока управления памятью (БУП), задачей которого на данном этапе является формирование адреса под управлением импульсов с СГ, соответствующего «номеру» информационного пакета с

АЦП. После записи кадра, БУП переключает ОЗУ в режим работы с МК1. На данном этапе МК1, под управлением ГТИ2, производит обработку оцифрованного кадра согласно собственной программе. Далее через модуль интерфейса (МИ1) информация передается посредством линии связи (ЛС) через МИЗ в персональный компьютер (ПК).

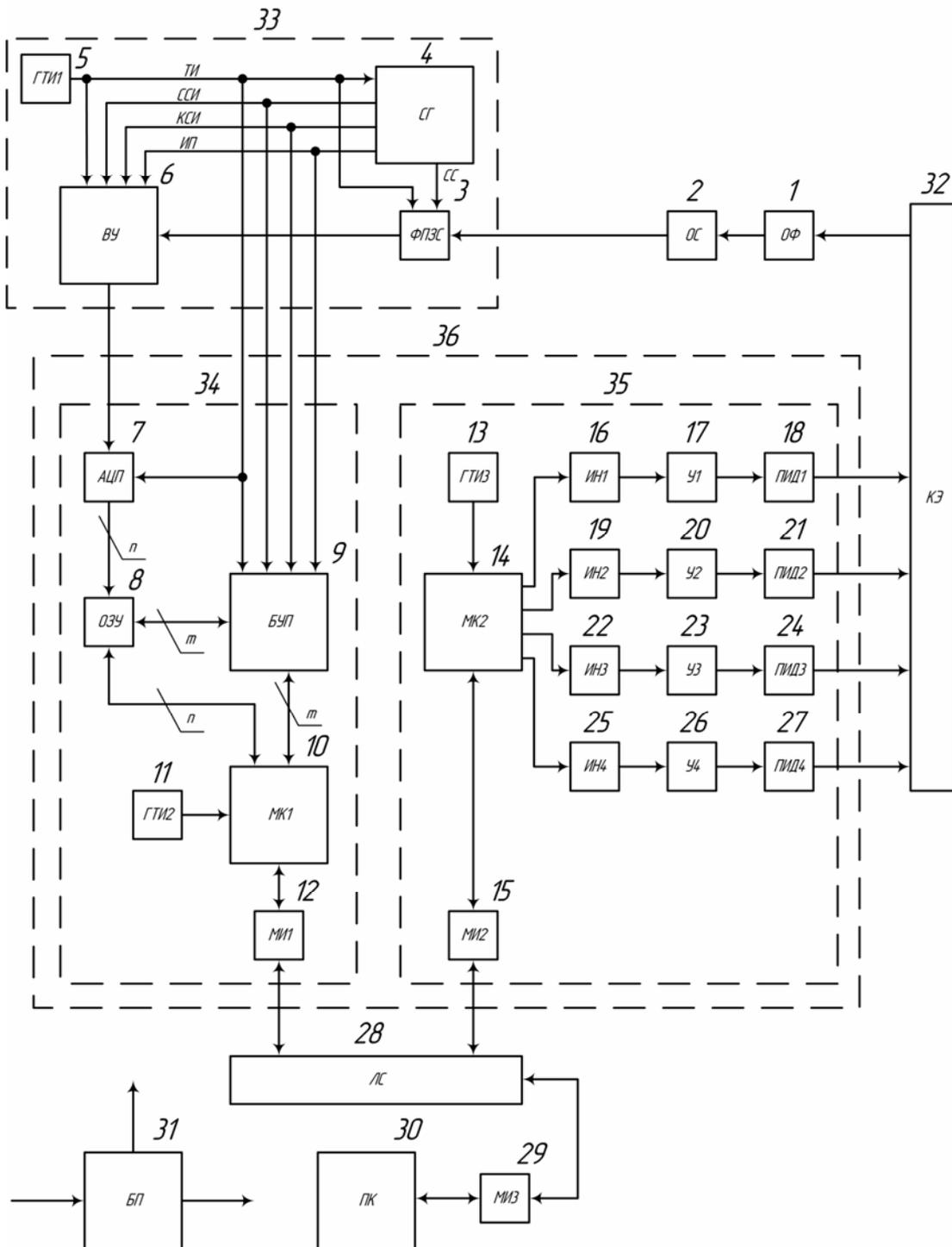


Рисунок 2.22 – Структурная схема ОЭСКД

Задачей блока управления излучателями (БУИ) является поочередный «поджиг» одного из пары задействованных в измерении ПИД. МК2 под управлением ГТИЗ и информационных сигналов, поступающих с МИ2 (от МК1), формирует соответствующие импульсы, поступающие на один из интеграторов (ИН), далее через усилитель (У) импульсы с заданной скважностью поступают на ПИД.

Необходимые напряжения питания вырабатываются блоком питания (БП).

2.16 Оптико-электронная система контроля положения реперных меток

Оптико-электронная система контроля положения реперных меток (ОЭСКПРМ) позволяет обеспечить работу комплексной системы контроля смещений железнодорожного пути в двух взаимно перпендикулярных направлениях (в продольном профиле и плане) для различных условий эксплуатации на современных путевых машинах.

Работа системы основана на схеме, в которой определяется положение изображений реперной метки регистрируемое двумя фотоприемными модулями, расположенными на фиксированном расстоянии друг от друга (в оптике известной как внутрибазная схема двойного изображения). Смещения меток с оси как по вертикали, так и по горизонтали вызывают смещение изображений, которые фиксируются фотоприемными модулями и обрабатываются в блоке обработки.

ОЭСКПРМ представляет собой активную оптико-электронную систему, реализованную по схеме внутрибазового дальномера. Базовый блок ОЭСКПРМ содержит два фотоприёмных модуля (МФ) с матричными фоточувствительными приборами на CMOS-структурах (ФПЗС) в качестве приёмников оптического излучения (МФ разнесены на величину базы $B = B_1 + B_2$ и укреплены на упругих шарнирах в швеллере) и индикатор опор (ИО). Упругие шарниры позволяют изменять наклон МФ в вертикальной плоскости, добиваясь пересечения оптических осей объективов МФ в базовой точке системы с координатами (θ, θ, Z_0) в приборной системе координат XYZ . Реперная метка состоит из контрольного элемента (КЭ) положения опор (черт. ОЭСКПРМ 00.000 С1), который используется ИО, и светодиода (СД), смещения относительно которого измеряются системой.

Вначале происходит измерение координат СД в промежуточной системе координат $X'Y'Z'$, получаемой из XYZ параллельным переносом вдоль оси Z на определенную величину. Затем производится переход к приборной системе координат.

Структурная схема системы ОЭСКПРМ (рисунок 2.23) включает в себя базовый блок (ББ), блок обработки (БО), метку реперную (МР), крепление базового блока (КББ) и крепление метки реперной (КМР). ББ содержит индикатор опор (ИО), модуль управления (МУ), модули

фотоприемные (МФ1,2), уровень (У) и индикаторный модуль (ИМ). БО, имеющий выход в центральный блок обработки (ЦБО), состоит из промышленного компьютера (ПК), аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и преобразователя напряжения (ПН) поступающего от источника питания путевой машины. МР содержит контрольный элемент положения опоры (КЭПО), блок питания светодиода (БПСД) и светодиод (СД).

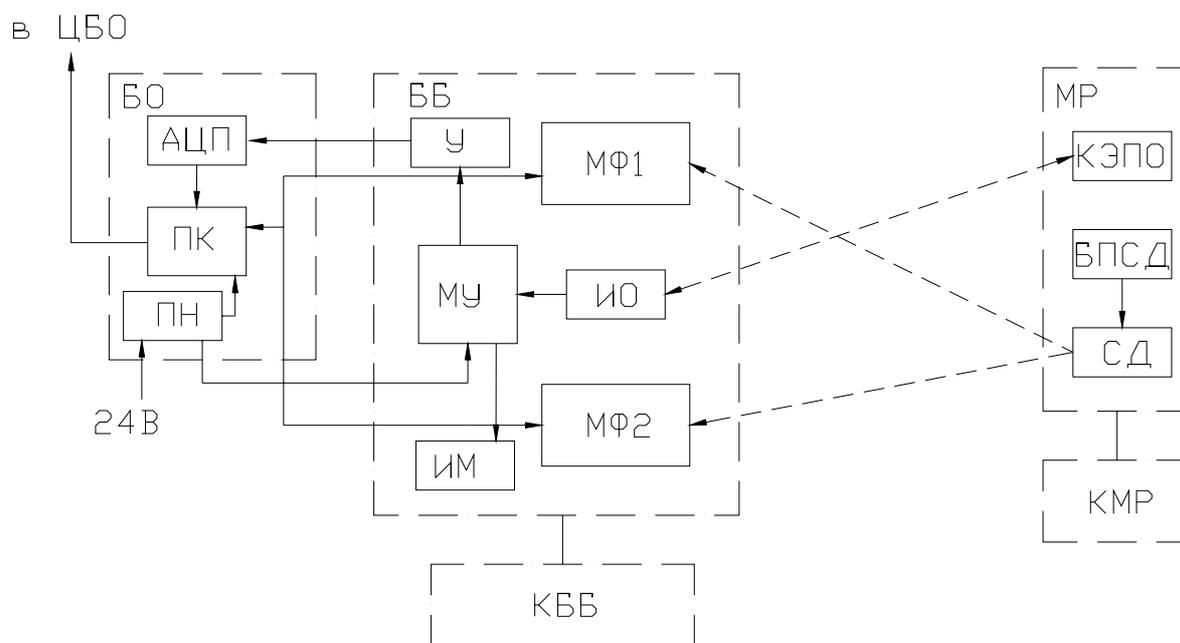


Рисунок 2.23 – Структурная схема ОЭСКПРМ

Пространственное положение ББ и МР определяется креплением базового блока (КББ) и креплением реперной метки (КМР) соответственно.

ИО предназначен для сигнализации о появлении СД в поле зрения системы и инициации начала измерений.

МФ1 и МФ2, каждый из которых состоит из объектива и приемника оптического излучения (ПОИ) на основе CMOS-матрицы с USB-интерфейсом, предназначены для регистрации излучения СД и формирования цифрового видеосигнала, поступающего через USB-интерфейс в БО.

ИМ, состоящий из сигнальной панели, предназначен для визуального контроля состояния ББ в любой момент времени. БО представляет собой промышленный компьютер ПК, преобразователь напряжения ПН и аналого-цифровой преобразователь АЦП. ЦБО по сигналу от индикатора опор получает от БО измерительную информацию о координатах СД в приборной системе координат и величине уровня пути в измеряемой точке.

Работа системы заключается в том, что при проезде измерительной тележки по пути ББ захватывает излучение СД точно в створе с МР,

закрепленной на опоре столбов. При этом ИО вырабатывает управляющий сигнал по которому МФ 1 и МФ2 захватывают изображения СД и преобразуют его в цифровые электрические сигналы. БО обрабатывает полученные сигналы с учетом сигналов от У и выдает ЦБО три координаты (смещение, дистанция, наклон) о положении БО относительно РМ. Эти координаты определяют реальное положение железнодорожного пути относительно реперов, установленных на столбах. Микропроцессорная система управления выправкой пути (МСУВП) преобразует полученные координаты в параметры необходимые для работы выправочной машиной.

ГЛАВА 3. ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Основной задачей видеоинформационных измерительных систем, является обработка изображения объекта с целью извлечения количественной информации о нём. Бурное развитие электронных вычислительных машин, а также стремительное увеличение вычислительной мощности персональных компьютеров делает заманчивым применение цифровой обработки сигналов в телевизионных измерительных системах. Цифровая обработка сигналов успешно применяется в различных областях науки и техники, таких как гидроакустика, радиолокация, биомедицина, системы передачи данных.

3.1 Обработка информации в виде изображений

Обработка изображений с использованием ЭВМ можно разделить на три основных направления [11]: машинную графику, обработку изображений и распознавание изображений.

Задача машинной графики – воспроизведение или визуализация изображений в тех случаях, когда исходной является информация неизобразительной природы. В качестве примеров можно привести построение графиков функций, компьютерная живопись, анимация.

Обработка изображений связаны с решением задач, в которых входные и выходные данные являются изображениями. Примером могут служить подавление шумов в исходном изображении, сжатие данных передаваемых по каналам связи, изменение контраста, яркости, диапазона яркостей.

Основным назначением распознавания изображений является применение методов позволяющих получить некоторое описание изображения, поданного на вход системы или провести его классификацию. В данном случае, можно сказать решается задача, обратная, задаче машинной графики. Процедура распознавания применяется к входному изображению и обеспечивает его преобразование в некоторое описание, например набор чисел, символов и т.д. Дальнейшая обработка описания позволяет провести классификацию изображения.

Множество изображений можно условно разделить на четыре класса: полутоновые и цветные изображения; бинарные изображения; непрерывные кривые и линии; точки и многоугольники.

В качестве наиболее важных этапов обработки изображений можно выделить следующие процедуры [7].

Формирование цифрового представления изображения. На данном этапе основными являются процессы дискретизации и квантования, также процедуры ввода изображений в память ЭВМ.

Предварительная обработка изображений. Основные операции данного этапа являются операции восстановления, фильтрации, улучшения визуального восприятия изображения.

Формирование графического препарата изображения. Здесь осуществляются обработка изображения с целью вычленения характерных особенностей изображения, например, сегментация, выделение контуров, скелетизация изображений.

Анализ изображений. На данном этапе путем измерения различных параметров (характерных особенностей), определения признаков изображения, составляются описания изображений и объектов.

Классификация и распознавание изображений. На этом этапе на основе описаний производится классификация и распознавание изображений и объектов.

3.2 Изменение контраста изображения

Задача изменения контраста связана коррекцией динамического диапазона исходного изображения.

Положим, что $f(i,j)=f_{i,j}$, $g(i,j)=g_{i,j}$, - значения яркости исходного и получаемого после обработки изображений соответственно в точке кадра, i - номер строки, j номер столбца. Если f_{min} и f_{max} - соответственно исходные минимальное и максимальное значения яркости исходного изображения. А g_{min} и g_{max} - желаемые минимальное и максимальное значения выходной яркости.

Линейным изменением контраста будет являться преобразование вида

$$g_{i,j} = a \cdot f_{i,j} + b, \quad (3.1)$$

параметры преобразования a и b можно определить, решив систему уравнений:

$$\begin{cases} g_{min} = a \cdot f_{min} + b \\ g_{max} = a \cdot f_{max} + b \end{cases}$$

Нетрудно показать, что в конечном итоге преобразование (3.1) приводится к виду:

$$g_{i,j} = (f_{i,j} - f_{min}) \frac{g_{max} - g_{min}}{f_{max} - f_{min}} + g_{min} \quad (3.2).$$

Соляризация изображения процедура имеющая вид:

$$g_{i,j} = k \times f_{i,j} (f_{max} - f_{i,j}), \quad (3.3)$$

где f_{max} - максимальное значение исходного сигнала, а k – нормирующий множитель, позволяющий изменять динамический диапазон преобразованного изображения.

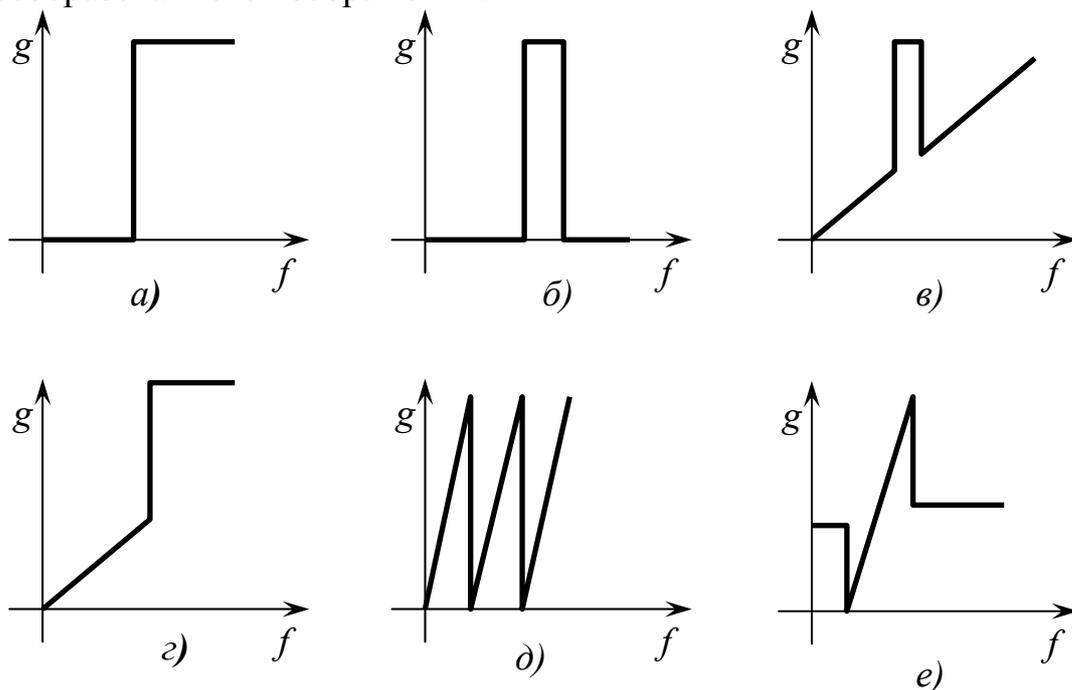


Рисунок 3.1 – Примеры преобразований, используемых при препарировании

Препарирование изображения, также относится к группе точечных преобразований [5]. Примеры преобразований используемых при препарировании приведены на рисунке 3.1. Например, *преобразование с пороговой характеристикой* (рисунок 3.1, а) превращает полутоновое изображение в бинарное. Характеристика передачи уровней для *яркостного среза* приведена на рисунке 3.1, б. Это преобразование позволяет выделить определенный интервал диапазона яркостей. Перемещая выделенный интервал, по яркостной шкале можно детально исследовать содержание картины.

Препарирование обычно используется при визуальном анализе изображений.

3.3 Изменение гистограмм изображений

Гистограмма распределений яркости изображения естественного происхождения после линейного квантования обычно смещена в сторону малых уровней [12]. В результате на темных участках таких изображений детали оказываются неразличимыми. Одним из методов улучшения таких изображений является видоизменение гистограммы. Этот метод подразумевает преобразование яркостей исходного изображения, таким образом, чтобы гистограмма полученного изображения имела желаемую форму.

Видоизменение гистограммы можно рассматривать как монотонное поэлементное преобразование $g_i = F(f_i)$ входной интенсивности $f_0 \leq f_i \leq f_n$ в выходную $g_0 \leq g_i \leq g_k$, в результате исходное распределение вероятности $p(f_j)$ переходит в распределение вероятностей $p(g_j)$ имеющее желаемую форму. Очевидно, что сумма вероятностей для

всех уровней должна равняться единице: $\sum_{j=0}^n p(f_j) = 1$ и $\sum_{i=0}^k p(g_i) = 1$.

Причем для любого j должны быть одинаковы исходная и преобразовательная функция распределения вероятностей. Вероятность того, что яркость элементов исходного изображения меньше или равна f_j , должна равняться вероятности того, что яркость элементов обработанного изображения будет меньше или равна g_k , следовательно:

$$\sum_{n=0}^k p(g_n) = \sum_{m=0}^j p(f_m). \quad (3.4)$$

Сумма вероятности правой части определяется распределением вероятности исходного изображения. Переходя в (3.4) от суммирования к интегральной записи получаем выражение вида

$$\int_{g_{min}}^g p_g(g) dg = \int_{f_{min}}^f p_f(f) df, \quad (3.5)$$

где $p_f(f)$ и $p_g(g)$ - плотности вероятности f и g соответственно. При этом правая часть выражения (3.5) представляет собой распределение вероятности $P_f(f)$ исходной переменной f , которая в свою очередь может быть аппроксимирована гистограммой распределения:

$$P_f(f) \approx \sum_{m=0}^j H_F(m). \quad (3.6)$$

В таблице 3.1 приведены некоторые разновидности гистограмм обработанных изображений и соответствующие им характеристики передачи уровней.

В заключение отметим, что процедуры преобразования гистограмм могут применяться как к изображению в целом, так и к отдельным его фрагментам. Последнее может быть полезным при обработке нестационарных изображений, содержание которых существенно различается по своим характеристикам на различных участках. В этом случае лучшего эффекта можно добиться, применяя гистограммную обработку к отдельным участкам[5].

Таблица 3.1

Плотность вероятности на выходе	Характеристика передачи уровня
<p>Равномерная</p> $p_g(g) = \frac{1}{g_{\max} - g_{\min}},$ $g_{\min} \leq g \leq g_{\max}$	$g = (g_{\max} - g_{\min})P_f(f) + g_{\min}$
<p>Экспоненциальная</p> $p_g(g) = \alpha e^{-\alpha(g-g_{\min})}, g_{\min} \leq g$	$g = g_{\min} - \frac{1}{\alpha} \ln(1 - P_f(f))$
<p>Релея</p> $p_g(g) = \frac{g - g_{\min}}{\alpha^2} e^{-\frac{(g-g_{\min})^2}{2\alpha^2}},$ $g_{\min} \leq g$	$g = g_{\min} + \sqrt{2\alpha^2 \ln \frac{1}{1 - P_f(f)}}$
<p>Степени 2/3</p> $p_g(g) = \frac{1}{3} \frac{g^{\frac{2}{3}}}{g_{\max}^{\frac{1}{3}} - g_{\min}^{\frac{1}{3}}}$	$g = \left[(g_{\max}^{\frac{1}{3}} - g_{\min}^{\frac{1}{3}})P_f(f) + g_{\min}^{\frac{1}{3}} \right]^3$
<p>Гиперболическая</p> $p_g(g) = \frac{1}{g} (\ln(g_{\max}) - \ln(g_{\min}))$	$g = g_{\min} \left[\frac{g_{\max}}{g_{\min}} \right]^{P_f(f)}$

3.4 Выделение контуров

Прежде чем перейти к самим алгоритмам, рассмотрим метод выделения границ, который необходим как вспомогательный алгоритм, предшествующий основному. Общий подход к обнаружению контуров достаточно прост. Исходное изображение, представленное массивом чисел $F(j, k)$ подвергается линейной или нелинейной обработке с тем, чтобы выявить перепады яркости. В результате образуется массив чисел $G(j, k)$, описывающий изображение с подчеркнутыми изменениями яркостей. Затем выполняется операция сравнения с порогом и определяется положение элементов с ярко выраженными перепадами. Если $G(j, k) < T_L(j, k)$, то имеет место нисходящий перепад, а при $G(j, k) \geq T_U(j, k)$ восходящий перепад [12].

Величины $T_L(j, k)$ и $T_U(j, k)$ представляют собой нижнее и верхнее пороговые значения. Выбор порога является одним из ключевых вопросов выделения контуров. При слишком высоком уровне порога не будут обнаружены объекты и их элементы с низким контрастом.

L_0	L_1	L_2
L_7	$F(j, k)$	L_3
L_6	L_5	L_4

Рисунок 3.2 – Обозначение элементов для оператора выделения перепадов с окном 3x3

Один из наиболее простых методов выделения контуров заключается в вычислении дискретных разностей, что аналогично непрерывному дифференцированию. Подчеркивание вертикальных перепадов осуществляется горизонтальным (построчным) дискретным дифференцированием

$$G(j, k) = F(j, k) - F(j, k + 1). \quad (3.7)$$

Аналогично осуществляется подчеркивание горизонтальных перепадов:

$$G(j, k) = F(j, k) - F(j + 1, k). \quad (3.8)$$

Диагональное подчеркивание можно получить путем вычисления разностей пар диагональных элементов.

В нелинейных системах обнаружения перепадов для контрастирования перед пороговым ограничением используются не линейные комбинации значений яркости элементов изображения. Примером может служить нелинейный оператор Собела, здесь используется нелинейный оператор с окном 3x3 элементов. Для контрастирования перепадов вычисляется величина

$$G(j, k) = \sqrt{X^2 - Y^2}, \quad (3.9)$$

где

$$X = (L_2 + 2L_3 + L_4) - (L_0 + 2L_7 + L_6),$$

$$Y = (L_0 + 2L_1 + L_2) - (L_6 + 2L_5 + L_4)$$

L_i – яркости элементов окна, показанного на рисунке 3.2.

Оператор Робертса также осуществляет нелинейную операцию двумерного дискретного дифференцирования

$$G(j, k) = \sqrt{[F(j, k) - F(j + 1, k + 1)]^2 + [F(j, k + 1) - F(j + 1, k)]^2} \quad (3.10)$$

Другим нелинейным оператором является оператор предложенный Киршем. Оператор использует окно 3x3, приведенное на рисунке 3.2, и определяется как

$$G(j, k) = \max\left(1, \max_{i=0 \div 7} |5S_i - 3T_i|\right), \quad (3.11)$$

где

$$S_i = A_i + A_{i+1} + A_{i+2}, \quad T_i = A_{i+3} + A_{i+4} + A_{i+5} + A_{i+6} + A_{i+7}.$$

Индексы у слагаемых A_i подсчитываются по модулю 8.

3.5 Привязка изображений

В практике обработки изображений задача поиска соответствия получила большое распространение и известна как проблема «поиска по образцу». Формально ее можно рассматривать как процесс отождествления эталонного изображения (образа фрагмента) с одним из множества образов фрагментов, лежащих в некоторой (задаваемой) области (зоне поиска) второго изображения [5].

В качестве примера рассмотрим задачу сопоставления с эталоном бинарных изображений. В процессе решения задачи эталон последовательно перемещается по полю изображения и исследуется его сходство с различными участками изображения. Понятно, что в реальных условиях добиться полного сходства невозможно, поэтому с помощью меры различия $D(m, n)$ между эталоном и изображением в точке (m, n) указывают на наличие выделенного объекта там, где это различие меньше некоторого установленного порога $L_D(m, n)$.

В качестве меры различия можно взять среднеквадратическую ошибку определяемую как

$$D(m, n) = \sum_j \sum_k [F(j, k) - T(j - m, k - n)]^2, \quad (3.12)$$

где $F(j, k)$ – элемент массива изображения, на котором производится поиск, а $T(j, k)$ – элемент эталонного массива. При этом считается, что есть сходство, если $D(m, n) < L_D(m, n)$.

Выражение (3.12) можно представить в виде

$$D(m, n) = D_1(m, n) - 2D_2(m, n) + D_3(m, n), \quad (3.13)$$

где

$$D_1(m, n) = \sum_j \sum_k [F(j, k)]^2,$$

$$D_2(m, n) = \sum_j \sum_k [F(j, k) - T(j - m, k - n)],$$

$$D_3(m, n) = \sum_j \sum_k [T(j - m, k - n)]^2 .$$

Второе слагаемое представляет собой взаимную корреляцию $R_{FT}(m, n)$ изображения и эталона. При совпадении изображения и эталона значение взаимной корреляции должно быть велико, однако на практике удобнее использовать нормированную взаимную корреляцию

$$\tilde{R}_{FT}(m, n) = \frac{D_2(m, n)}{D_1(m, n)} = \frac{\sum_j \sum_k [F(j, k) - T(j - m, k - n)]}{\sum_j \sum_k [F(j, k)]^2} \quad (3.14)$$

Далее производится сравнение полученного значения с порогом, считается, что имеет место сходство, если $\tilde{R}_{FT}(m, n) > L_R(m, n)$. Нормированная взаимная корреляция имеет максимальную величину, равную единице, когда изображение полностью совпадает с эталоном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Андреев А.Л.** Автоматизированные телевизионные системы наблюдения. Часть I. Аппаратные средства и элементная база: учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования / А.Л. Андреев. – СПб.: СПбГУИТМО, 2005. – 88с. – 100 экз.
2. **Андреев А.Л.** Методы моделирования ОЭС с многоэлементными анализаторами изображения: методические указания к лабораторным работам / А.Л. Андреев, С.Н. Ярышев – СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 52 с. – 100 экз.
3. **Андреев А.Л.** Аппаратные и программные средства оптико-электронных приборов с телевизионными датчиками на ФПЗС: методические указания / А.Л. Андреев, С.Н. Ярышев, А.Р. Стрелков. – СПб.: ИТМО, 1995. – 49 с. – 100 экз.
4. **Горелик С.Л.** Телевизионные измерительные системы / С.Л. Горелик, Б.М. Кац, В.И. Киврин. – М.: Связь, 1980.– 168 с.
5. **Грузман И.С.** Цифровая обработка изображений в информацион-ных системах: учеб. Пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А. Спектор.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с. – 2000 экз. – ISBN 5-7782-0330-6.
6. **Грязин Г.Н.** Системы прикладного телевидения: учеб. пособие для вузов / Г.Н. Грязин.– СПб.: «Политехника», 2001.– 277 с. – 1000 экз.– ISBN 5-7325-0445-1.
7. **Дегтярев С.В.** Методы цифровой обработки изображений: учеб. пособие Ч.1 / С.В. Дегтярев, С.С. Садыков, С.С. Тевс, Т.А. Ширабакина; Курск. гос. техн. ун-т. – Курск, 2001. – 167 с.– 125 экз.– ISBN 5-7681-0097-0.
8. **Казанцев Г.Д.** Измерительное телевидение / Г.Д. Казанцев, М.И. Курычий, И.Н. Пустынский. – М.: Высшая школа, 1994. – 288 с. – 3000 экз. – ISBN 5-06-002351-6.
9. **Карасик В.Е.** Лазерные системы видения: учеб. пособие / В.Е. Карасик, В.М. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 352 с. – 1000 экз. – ISBN 5-7038-1735-8.
10. **Кирчин Ю.Г.** Применение приборов с зарядовой связью для определения положения оптической равносигнальной зоны / Ю.Г. Кирчин // Изв. ВУЗов СССР. Сер. Приборостроение. – 1991. – Т. XXXIV, № 7. – С. 88–93.
11. **Павлидис Т.** Алгоритмы машинной графики и обработки изображений / Т. Павлидис. – М.: Радио и связь, 1986. – 400 с.
12. **Прэтт У.** Цифровая обработка изображений / Уильям Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Кн.2 – 480 с. – 10000 экз.

13. **Джакония В.Е.** Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин / Под ред. проф. В.Е. Джаконии. – М.: Связь, 2004. – 616 с.– 2000 экз. – ISBN: 5-256-01542-7.
14. **Урвалов, В. А.** Очерки истории телевидения / В. А. Урвалов; Отв. ред. И. А. Росселевич; АН СССР. – М.: Наука, 1990. – 215 с.
15. **Андреев А.Л.** Автоматизированные телевизионные системы наблюдения. Часть II. Арифметико-логические основы и алгоритмы: учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования / А.Л. Андреев. – СПб.: СПбГУИТМО, 2005. – 88с. – 100 экз.
16. **Дворяшин Б.В.** Основы метрологии и радиоизмерения: Учебное пособие для вузов / Б.В. Дворяшин. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с. – 3600 экз. – ISBN 5-256-01020-4.
17. **Ильин В.А.** Телеуправление и телеизмерение: учеб. пособие для вузов. –3-е изд., перераб. и доп. / В.А. Ильин – М.: Энергоиздат, 1982. – 560 с. – 30000 экз.
18. **Хромов Л.И.** Твердотельное телевидение: телевизионные системы с переменными параметрами на ПСЗ и микропроцессорах / Л.И. Хромов, Н.В. Лебедев, А.К. Цыцулин, А.Н.Куликов; под ред. И.А. Росселевича. – М.: Радио и Связь, 1986. – 184с. – 14000 экз.
19. **Домбругов Р.М.** Телевидение / Р.М. Домбругов. – Киев: Вища школа, 1988. – 215 с.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

КАФЕДРА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Кафедра создавалась в 1937-38 годах и существовала под следующими названиями:

- с 1938 по 1958 год - кафедра военных оптических приборов;
- с 1958 по 1967 год - кафедра специальных оптических приборов;
- с 1967 по 1992 год - кафедра оптико-электронных приборов;
- с 1992 года - кафедра оптико-электронных приборов и систем.

Кафедру возглавляли:

- с 1938 по 1942 год - профессор К.Е. Солодилов;
- с 1942 по 1945 год профессор А.Н. Захарьевский (по совместительству);
- с 1945 по 1946 год - профессор М.А. Резунов;
- с 1947 по 1972 год - профессор С.Т. Цуккерман;
- с 1972 по 1992 год - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Л.Ф. Порфирьев;
- с 1992 по 2007 год - заслуженный деятель науки РФ, профессор Э.Д. Панков.
- с 2007 года по настоящее время - почетный работник высшего профессионального образования, профессор В.В. Коротаев.

История кафедры началась в 1937-38 годах с организации в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО) кафедры военных оптических приборов. Первым заведующим кафедрой был К.Е. Солодилов, до этого возглавлявший Центральное конструкторское

бюро (ЦКБ) Всесоюзного объединения оптико-механической промышленности (ВООМП). Преподавателями кафедры стали сотрудники этого ЦКБ - М.А. Резунов, М.Я. Кругер, С.Т. Цуккерман, В.А. Егоров, Б.М. Кулежнов.

В годы Великой Отечественной войны кафедра была эвакуирована в Черепаново, где обязанности заведующего кафедрой выполнял профессор А.И. Захарьевский. Преподавателями кафедры по состоянию на 01.04.1945 г были профессор Чулановский, доцент Кругер, ст. преподаватель Гриневич, ассистенты Дедюлин и Погарев. После возвращения в Ленинград кафедрой в 1945-46 годах по совместительству заведовал начальник конструкторского бюро (КБ) Государственного оптического института им. С.И. Вавилова (ГОИ) М.А. Резунов.

В начале 1947 года кафедру возглавил профессор С.Т. Цуккерман, который руководил ею до 1972 года. В 1958 году кафедра была реорганизована в кафедру специальных оптических приборов, а в 1967 году в кафедру оптико-электронных приборов (ОЭП).

Создание С.Т. Цуккерманом в предвоенные годы книги «Точные механизмы» (М.: Оборонгиз, 1941) является значительным вкладом в развитие отечественного точного приборостроения. С.Т. Цуккерман является автором более 120 научных работ и более 50 изобретений. В предвоенные, военные и послевоенные годы С.Т. Цуккерман работал над созданием прицельных устройств для зенитной и авиационной артиллерии. Он был одним из создателей серийного авиационного гироскопического прицела АСП с автоматической выработкой поправки на упреждение, который устанавливался на истребителях МиГ, а также механического ракурсного прицела для мелкокалиберной зенитной артиллерии, широко применяемого во время войны во Вьетнаме.

В 1958 г. при кафедре была организована отраслевая лаборатория «Специальные оптические приборы» с достаточно сильной группой конструкторов-разработчиков. С.Т. Цуккерман и старший научный сотрудник А.С. Гридин руководили разработкой приборов управления по лучу (ПУЛ), предназначенных для управления движением различных подвижных объектов по прямой линии или по программе.

В начале 60-х годов старший научный сотрудник Г.Г. Ишанин занимался разработкой фотометрической аппаратуры, предназначенной для паспортизации оптико-электронных приборов и систем различного назначения.

Значительное влияние на содержание подготовки специалистов и научных исследований оказало привлечение к работе на кафедре выдающегося специалиста в области оптико-электронного приборостроения, члена-корреспондента Российской академии наук (РАН), Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии профессора М.М. Мирошникова, который, работая на кафедре ОЭП с

1969 года по 1976 год в должности профессора по совместительству, поставил и читал курс «Теория оптико-электронных приборов».

С 1972 года по 1992 год кафедрой ОЭП заведовал заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Л.Ф. Порфирьев, известный специалист в области автоматических ОЭПиС в комплексах навигации и управления авиационной и космической техникой. Соответственно тематика выполнения научно-исследовательских работ на кафедре приобрела новые направления, существенно увеличилось число тем, носящих поисковый фундаментальный характер. Были разработаны новый учебный план и программы учебных дисциплин.

Л.Ф. Порфирьев является автором 19 учебников, учебных пособий и монографий, среди которых можно выделить такие как «Теория оптико-электронных приборов и систем» (Л.: Машиностроение, 1980), «Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах» (Л.: Машиностроение, 1989). Результаты его работ можно оценить как значительный вклад в разработку общей теории оптико-электронных систем.

Л.Ф. Порфирьев как руководитель проводил достаточно жесткую кадровую политику, при которой на кафедре оставались работать только те сотрудники, которые отличались преданностью делу. При этом он оказывал всемерную поддержку сотрудникам кафедры по разработке ими различных направлений теории и практики оптико-электронного приборостроения. По результатам научно-исследовательских работ в этот период защитили диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Г.Н. Грязин (1983 г.), Е.Г. Лебедько (1985 г.), Э.Д. Панков (1986 г.), Г.Г. Ишанин (1988 г.), защищено много диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В этот период под руководством Э.Д. Панкова начали проводиться исследования по разработке новых оптико-электронных систем измерения взаимного положения разнесенных в пространстве объектов.

Г.Н. Грязин, перешедший на кафедру с радиотехнического факультета в конце 60-х годов, продолжил свои работы в области прикладного телевидения, в частности, по разработке систем наблюдения за быстродвижущимися объектами и быстропротекающими процессами.

С 1975 года заведующим отраслевой лабораторией стал старший научный сотрудник А.Н. Тимофеев, который продолжил исследования по разработке методов и средств контроля пространственного положения объектов с помощью ОЭП с оптической равносигнальной зоной для машиностроения, энергетики, строительства, судостроения и железнодорожного транспорта.

С 1975 года, после увольнения в запас, из Ленинградской военной инженерной краснознаменной академии (ЛВИКА) им. А.Ф. Можайского на кафедру пришел работать в должности профессора С.П. Авдеев,

известный специалист в области ОЭПиС космических аппаратов. Он поставил курсы и читал лекции по учебным дисциплинам «Оптико-электронные приборы», «Оптико-электронные приборы систем управления», «Оптико-электронные приборы для научных исследований».

Существенное влияние на содержание подготовки специалистов и научных исследований оказало привлечение к работе на кафедре лауреата Ленинской и Государственной премий профессора Б.А. Ермакова, известного специалиста в области физической оптики и оптико-электронного приборостроения. Б.А. Ермаков работал на кафедре ОЭП с 1979 года по 1992 год в должности профессора по совместительству и поставил курс «Оптико-электронные приборы с лазерами».

В 70-80 годах под руководством доцента Е.Г. Лебедько проводились исследования законов отражения лазерного излучения от нестационарных поверхностей и протяженных объектов, исследования в области теории идентификации объектов по их излучению в сложной фоновой ситуации. Создан комплекс для лазерной локации крупногабаритных морских объектов сложной конфигурации и водной поверхности. В этих работах принимали участие доценты О.П. Тимофеев и С.Б. Лукин.

В 70-90 годах под руководством Л.Ф. Порфирьева был разработан ряд астродатчиков, систем астроориентации и космической навигации (В.И. Калинин, А.Л. Андреев, С.Н. Ярышев).

С 1992 г. заведующим кафедрой является заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Э.Д. Панков. В 1992 году кафедра была переименована в кафедру оптико-электронных приборов и систем (ОЭПиС).

Под руководством Э.Д. Панкова в 70-90-х годах были проведены разработки ряда оптико-электронных приборов и систем специального и гражданского применения, нашедших практическое внедрение и способствующих научно-техническому прогрессу и укреплению обороноспособности нашей страны.

В частности, исследования и разработки в области линейных и угловых измерений позволили приступить к решению общей проблемы согласования отсчетных баз на нестационарно деформируемых объектах с помощью оптико-электронных систем.

В рамках указанной проблемы доцентом И.А. Коняхиным проводились исследования, результаты которых можно классифицировать как разработку теории построения автоколлимационных систем с компонентами нарушенной типовой конфигурации.

В то же время доцентом В.В. Коротаевым разработан ряд поляризационных приборов и измерительных установок. Теоретическим результатом работ явилась разработка методологии анализа поляризационных свойств оптических систем с изменяющейся ориентацией элементов. По результатам указанных работ В.В. Коротаев (в 1997 г.) и И.А. Коняхин (в 1998г.) защитили диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.

Применение многоэлементных приемников в системах пеленгации дало толчок развитию телевизионных систем технического зрения, измерительных телевизионных систем и систем обработки изображений. Результаты этих исследований были использованы доцентом А.Л. Андреевым при постановке учебных курсов «Оптико-электронные системы с ЭВМ», «Специализированные аппаратные и программные средства ОЭП», «Автоматизированные телевизионные вычислительные комплексы», а также доцентом С.Н. Ярышевым при постановке им в 1993 году учебной дисциплины «Видеотехника».

Указанные курсы обеспечиваются лабораторным практикумом на базе рабочих мест, оснащенных персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть. Рабочие места оснащены аппаратными и программными средствами цифровой видеозаписи и обработки изображений. В этот период Г.Н. Грязиным были подготовлены дисциплинам: «Телевизионные системы», «Прикладное телевидение и телевизионно-вычислительные комплексы» (совместно с А.Л. Андреевым).

На основе обобщения методик расчета оптико-электронных систем различного назначения и принципа действия в 1981 году были развернуты работы по созданию элементов систем автоматизированного проектирования ОЭП. За период с 1981 по 1987 год под руководством И.А. Коняхина были разработаны оригинальные пакеты прикладных программ расчета параметров систем измерения пространственного положения объектов.

Развитие компьютерной техники и программного обеспечения общего назначения позволило создать проблемно-ориентированное программное обеспечение поддержки проектирования ОЭП на системотехническом уровне.

По результатам научных работ сотрудниками кафедры ОЭПИС выпущено в свет 15 монографий, 11 учебников и учебных пособий. На кафедре подготовлено 14 докторов наук, а также более 110 кандидатов наук.

На разработки кафедры получены авторские свидетельства СССР и патенты Российской Федерации на более чем 200 изобретений. Наибольший вклад в изобретательскую деятельность внес Э.Д. Панков - автор 123 изобретений, из которых 33 внедрены в промышленности.

При заявлении научно-педагогической школы «Оптико-электронное приборостроение» в 2009 году были сформулированы следующие основные научно-технические результаты, достигнутые в период с 1938 по 2009 годы:

- разработаны принципы построения военных оптико-механических приборов;
- разработаны принципы построения точных механизмов;
- разработаны принципы построения оптико-электронных приборов с оптической равносигнальной зоной;
- систематизированы теоретические основы и принципы построения оптико-электронных приборов;
- разработаны методы описания импульсных сигналов, идентификации и классификации объектов в системах нестационарной лазерной локации;
- разработаны теория, принципы построения и методы расчета импульсных телевизионных систем наблюдения быстро движущихся объектов;
- обнаружен термоупругий эффект в кристаллическом кварце и создан новый тип приемников оптического излучения;
- разработана теория построения автоколлимационных систем с компонентами нарушенной типовой конфигурации;
- разработана методология анализа поляризационных свойств оптических систем с изменяющейся ориентацией элементов;
- систематизированы теоретические основы и принципы построения измерительных систем на основе матричных фотопреобразователей;
- разработаны основы построения ОЭС согласования отсчетных баз на нестационарно деформируемых объектах.

Основоположники научной школы:

Солодилов Константин Евгеньевич, заведующий кафедрой с 1938 г. по 1942 г., профессор;

Цуккерман Семен Тобиасович, заведующий кафедрой с 1947 г. по 1972 г., профессор;

Мирошников Михаил Михайлович, директор ГОИ, д.т.н., профессор, профессор кафедры ОЭП с 1967 г. по 1978 г.; член-корреспондент Российской Академии наук, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии.

Порфирьев Леонид Федорович, заведующий кафедрой с 1972 г. по 1992 г., д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

С 2007 г. заведующим кафедрой является почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, профессор В.В. Кортаев.

На кафедре была открыта подготовка по новой специализации инженеров «Оптико-электронные приборы и системы обработки видеоинформации» и новая магистерская программа «Оптико-электронные методы и средства обработки видеоинформации».

В 2007 году был создан научно-образовательный центр оптико-электронного приборостроения (НОЦ ОЭП).

Научно-образовательный центр оптико-электронного приборостроения выполняет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию видеоинформационных и информационно-измерительных приборов различного назначения, высокоточных приборов для измерения линейных, угловых и других физических величин в промышленности, энергетике, на транспорте, а также систем технического зрения и обработки видеоинформации. К выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ широко привлекаются студенты, аспиранты, молодые специалисты, молодые кандидаты наук. Научно-образовательный центр является активным участником Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Направления научных исследований кафедры ОЭПиС в 2007-2011 годах.

Развитие теоретических основ и принципов построения оптико-электронных приборов и систем, в том числе:

- видеоинформационных измерительных систем;
- видеоинформационных систем наблюдения;
- видеоинформационных импульсных систем наблюдения быстро движущихся объектов;
- комплексированных телевизионно-тепловизионных систем наблюдения,
- ОЭПиС обеспечения техносферной безопасности;
- ОЭПиС согласования отсчетных баз на нестационарно деформируемых объектах;
- автоколлимационных систем с компонентами нарушенной типовой конфигурации;
- ОЭПиС цветового и спектрального анализа объектов;
- фотометрических систем аттестации ОЭПиС, источников и приемников оптического излучения;
- систем лазерной локации с нестационарным облучением;
- ОЭС сепарации полезных ископаемых.

По результатам исследований в этот период на кафедре были защищены 14 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Идет активное пополнение преподавательского состава молодыми кандидатами наук. В настоящее время на кафедре работает 7 кандидатов наук в возрасте до 35 лет.

Мы занимаемся разработкой оптико-электронных приборов и систем в целом:

- системотехническое проектирование,
- разработка (выбор) оптической системы,
- разработка конструкции,
- разработка (выбор) электроники и средств обработки информации,
- разработка программного обеспечения,
- сборка, юстировка, настройка и испытания.

Заказчикам мы сдаем законченное изделие.

По итогам конкурсов ведущих научно-педагогических коллективов СПбГУ ИТМО 2007-2010 годов кафедра занимала призовые места.

Подробная информация о кафедре ОЭПиС имеется на сайте кафедры: <http://oeps.ifmo.ru/>

**Валерий Викторович Кортаев
Андрей Владимирович Краснящих**

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

В авторской редакции В.В. Кортаев, А.В. Краснящих
Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Санкт-Петербургского национального
исследовательского университета
информационных технологий, механики
и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

