

На правах рукописи



Буюкян Сурен Петросович

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И МЕТОДОВ  
РЕШЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОДЕЗИИ  
НА ОСНОВЕ ВИДЕОИЗМЕРЕНИЙ

Специальность 25.00.32 – «Геодезия»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва –2017

Работа выполнена в АО «Государственный специализированный проектный институт» (АО «ГСПИ») Госкорпорации «Росатом»

Официальные оппоненты:

**Гайрабеков Ибрагим Гиланиевич**, доктор технических наук, доцент, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени М.Д. Миллионщикова, проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой «Геодезия и земельный кадастр»

**Денисенко Олег Валентинович**, доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ФГУП «ВНИИФТРИ»), заместитель генерального директора – начальник НИО-8

**Столбов Юрий Викторович**, доктор технических наук, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), профессор кафедры геодезии

Ведущая организация:

**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ)**

Защита состоится 15 июня 2017 г. в 10 час. на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер., д. 4, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГА и К) [http://www.miiгаik.ru/nauka/dissertacionyy\\_sovets/dissertatsii/](http://www.miiгаik.ru/nauka/dissertacionyy_sovets/dissertatsii/)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Вшивкова О.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Известны специальные задачи прикладной геодезии, например, мониторинг плановых и крутильных колебаний высотных сооружений, измерение прогибов несущих балок большепролетных сооружений, передача заданного направления (азимута) с неподвижного основания (берег) на подвижный объект (корабль) в одном горизонте и с одного горизонта на другой, контроль положений рабочих точек антенн антенных комплексов, для решения которых необходимо выполнение высокоточных (с относительной погрешностью 0,01%), длительных (в течение срока эксплуатации сооружения), непрерывных и периодических, оперативных (10 измерений в секунду) измерений с выдачей конечного результата решаемой задачи в автоматизированном режиме и в реальном времени. Эти задачи не решаются традиционными и не всегда решаются новейшими геодезическими методами и средствами измерений, что требует поиска новых решений, к которым относится разработанный автором новый в прикладной геодезии метод видеоизмерения, основанный на компьютерной обработке изображения наблюдаемого объекта в стандартном телевизионном видеосигнале.

**Актуальность** диссертационной работы состоит в том, что на основе видеоизмерений решаются многие задачи прикладной геодезии, которые не решаются на основе существующих методов и средств измерений.

**Цель** диссертации состоит в обеспечении надежной эксплуатации уникальных инженерных сооружений при том, что она не обеспечивается существующими геодезическими методами и средствами измерений.

Для ее достижения необходимо было решить следующие **задачи**:

- Разработать **теоретические основы** видеоизмерений для вычисления параметров, создания математических моделей и алгоритмов микропроцессорных и компьютерных программ видеоизмерений.
- Разработать методы видеоизмерений и видеоизмерительные системы для уникальных инженерных сооружений.

- Разработать метод преобразования стандартного телевизионного видеосигнала из аналогового в цифровой вид с выделением координат контурных точек изображения наблюдаемого объекта в видеокадре и создание специализированного видеопроцессора с возможностью передачи массивов цифровых данных через типовой компьютерный порт (USB) за время одного телевизионного полукадра, что позволяет в видеоизмерительных системах использовать практически любые компьютеры.

### **Степень разработанности темы:**

Наиболее значимые успехи в решении задач по автоматизации высокоточных геодезических измерений достигнуты трудами ученых и специалистов МИИГАиК (Москва), ГСПИ (Москва), ЦНИИГАиК (Москва), СГУГиТ (Новосибирск), НИИПГ (Новосибирск), ЕрПИ (Ереван), ЛПИ (Львов).

Наиболее близким к методу видеоизмерений является телевизионный метод измерений, пик развития которого пришелся на вторую половину XX века. В качестве первичного измерительного преобразователя в нем служила специальная телевизионная передающая трубка – диссектор, - характеризующаяся значительными габаритами и массой, питаемая от нескольких источников электрического тока, включая высоковольтный, что ограничивало его возможности для решения специальных задач прикладной геодезии.

При разработке видеоизмерительных системах использовались современные достижения микроэлектроники и компьютерной техники и технологии, в частности, модульные видеокамеры с координатно-чувствительным матричным фотоприемником (ПЗС-матрицей), что позволило в качестве первичного измерительного преобразователя использовать видеодатчик, характеризующийся незначительными габаритами и массой, питаемый от одного низковольтного (12В) и слаботочного (0,1А) источника постоянного тока.

### **Теоретическая значимость диссертации заключена:**

- В разработке автором теоретических основ видеоизмерений, обеспечивающих вычисление с необходимой точностью параметров видеоизме-

рений, создание математических моделей и алгоритмов микропроцессорных и компьютерных программ, создание видеоизмерительных систем, настроенных на выдачу конечного результата решаемой задачи в автоматизированном режиме и в реальном времени.

- В выводе формул для вычислений:
  - числа дискретов, выделяемых в направлениях координатных осей и в целом видеокадре;
  - констант видеоизмерений;
  - масштабных коэффициентов в направлениях координатных осей видеокадра;
  - угла между узлами видеоизмерительной системы для передачи заданного направления (азимута) с одного горизонта на другой;
  - средней квадратической погрешности видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений.

**Научная новизна** диссертации заключена в разработке:

- Нового в прикладной геодезии метода видеоизмерений и методов решения специальных задач прикладной геодезии на основе видеоизмерений, обеспечивающих надежную эксплуатацию уникальных инженерных сооружений.
- Нового в измерительной технике метода преобразования стандартного телевизионного видеосигнала из аналогового в цифровой вид с выделением координат контурных точек изображения наблюдаемого объекта в видеокадре и передачей массивов цифровых данных через типовой компьютерный порт (USB) за время одного телевизионного полукадра.

**Методология** разработок и исследований состоит:

- В оптимизации параметров узлов и видеоизмерительных систем в целом на основе метода «наименьших квадратов».
- В обработке результатов экспериментальных исследований и испытаний узлов и видеоизмерительных систем в целом на основе методов математической статистики.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в создании при непосредственном участии автора в качестве главного разработчика ряда видеоизмерительных систем:

- Видеоизмерительной системы для мониторинга плановых и крутильных колебаний верха Главного Монумента в парке Победы на Поклонной горе, Москва, 1997г.

- Видеоизмерительной системы для измерения весовых деформаций рефлектора большой параболической антенны ТНА-1500, Московская область, 2000г.

- Четырех видеоизмерительных систем для оперативного контроля плановых координат рабочих точек антенн антенных комплексов в центрах космической связи, Московская область, Красноярский край, 2001, 2003, 2005, 2012г.г.

- Мобильной видеоизмерительной системы для мониторинга деформаций несущих конструкций (тубингов) Лефортовского тоннеля глубокого заложения, Москва, 2005г.

- Трех видеоизмерительных систем для передачи заданного направления (азимута) в одном горизонте и с одного горизонта на другой, Архангельская и Волгоградская области, 2006, 2007, 2008г.г.

- Видеоизмерительной системы для измерения деформаций главных несущих балок перекрытия зрительного зала Государственного Кремлевского Дворца, Москва, 2010г.

- Видеоизмерительной системы для контроля геометрии внутренней вертикальной цилиндрической поверхности, получившей государственную регистрацию в качестве типа средства измерений с выдачей Свидетельства RU.E.27.003.A №53123, 2013г.

**Положения, выносимые на защиту:**

- ❖ Метод видеоизмерений, основанный на компьютерной обработке изображения наблюдаемого объекта в стандартном телевизионном видеосиг-

нале, обеспечивающий выполнение высокоточных, длительных, оперативных, непрерывных и периодических измерений с выдачей конечного результата решаемой задачи в автоматизированном режиме и в реальном времени.

❖ Методы решения следующих задач прикладной геодезии на основе видеоизмерений:

- мониторинг плановых и крутильных колебаний высотного сооружения;
- контроль плановых координат точек сооружения в местной координатной системе;
- измерение высотного положения узлов сооружения;
- контроль положения объекта относительно заданного (проектного) направления;
- контроль положения объекта относительно заданного створа;
- передача заданного направления (азимута) с неподвижного основания на подвижный объект в одном горизонте и с одного горизонта на другой;
- мониторинг деформаций несущих конструкций (тубингов) тоннельного сооружения;
- измерение весовых деформаций наклоняемого массивного узла сооружения;
- контроль геометрии внутренней вертикальной цилиндрической поверхности.
- измерение наклона контролируемого объекта;
- измерение положения контролируемого объекта относительно струны прямого и обратного отвесов;
- измерение высотного положения подвижного объекта.

❖ Метод преобразования стандартного телевизионного видеосигнала из аналоговой в цифровую форму с выделением координат контурных точек изображения наблюдаемого объекта в видеокадре и созданный на его основе специализированный видеопроцессор, позволяющий передавать массивы цифровых данных через типовой компьютерный порт за время одного теле-

визионного полукадра, что позволяет в видеоизмерительных системах использовать практически любые компьютеры.

**Достоверность** основных положений, рекомендаций и выводов диссертации состоит:

- В удовлетворительной сходимости результатов вычислений параметров видеоизмерений с результатами контрольных измерений и испытаний узлов и видеоизмерительных систем в целом.

- В создании специализированного видеопроцессора для видеоизмерений на основе разработанного автором метода преобразования стандартного телевизионного видеосигнала из аналогового в цифровой вид с выделением координат контурных точек изображения наблюдаемого объекта в видеокадре и передачей массивов цифровых данных через типовой компьютерный порт (USB) за время одного телевизионного полукадра.

**Апробация диссертационной работы** состоит в обсуждении и экспонировании основных результатов исследований и разработок на всероссийских и международных конференциях и выставках:

- юбилейной научно-практической конференции «Подземное строительство России на рубеже XXI века. Итоги и перспективы», Москва, 15-16 марта, 2000г.;

- международной научно-практической конференции «Тоннельное строительство России и стран СНГ в начале века. Опыт и перспективы», Москва, 28-31 октября, 2002г.;

- 125-ой Ежегодной конференции-выставке Международной Геодезической Федерации (125th Anniversary of FIG), Париж, 13-17 апреля, 2003г.;

- конференции – выставке: «По инновационным технологиям из России, Украины и Казахстана», организованной департаментом национальной ядерной безопасности министерства энергетики США, Филадельфия, штат Пенсильвания, 5-6 ноября, 2003г.;



- международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Москва, 25-27 мая, 2004г.;

- на инновационном форуме госкорпорации «Росатом», где экспонировался пакет предложений по использованию видеоуровнемера в нефтехимической, пищевой и других отраслях, Москва, 27-28 июня, 2006г.

Апробация результатов диссертационной работы также состояла в обсуждении в 2005г. совместного с Рязанцевым Г.Е. доклада автора на тему: «Автоматизированные информационно-измерительные системы ФГУП «ГСПИ» на основе видеоизмерений» на выездной сессии НТС-8 госкорпорации «Росатом», который своим решением рекомендовал Правительству Москвы использовать результаты разработок при создании автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния конструкций высотных зданий и сооружений в рамках реализации городской комплексной инвестиционной программы «Новое кольцо России».

**Структура и объем диссертации:** 168с., пять глав, три приложения, 58 рисунков, 67 наименований библиографии, включая 49 научных публикаций по теме диссертации, в том числе 7 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 25 Патентов РФ на изобретения, Патент РФ на полезную модель, две монографии и 14 публикаций в других изданиях.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во **введении** сформулированы цель и задачи, решаемые в диссертации, степень разработанности темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимости, достоверность и апробация полученных результатов, положения, выносимые на защиту.

В **главе 1**: «Возможности решения специальных задач прикладной геодезии на основе существующих методов и средств измерений и видеоизмерений» даны краткие характеристики традиционных и новейших геодезических и телевизионных методов и средств измерений. Показано, что на их ос-

нове не всегда решаются специальные задачи прикладной геодезии, что требует новых решений, к которым относятся видеоизмерения.

В главе 2: «Теоретические основы видеоизмерений» представлена модель видеоизмерений, основанная на типовой схеме видеоизмерительной системы, представленной на рисунке 2.1.

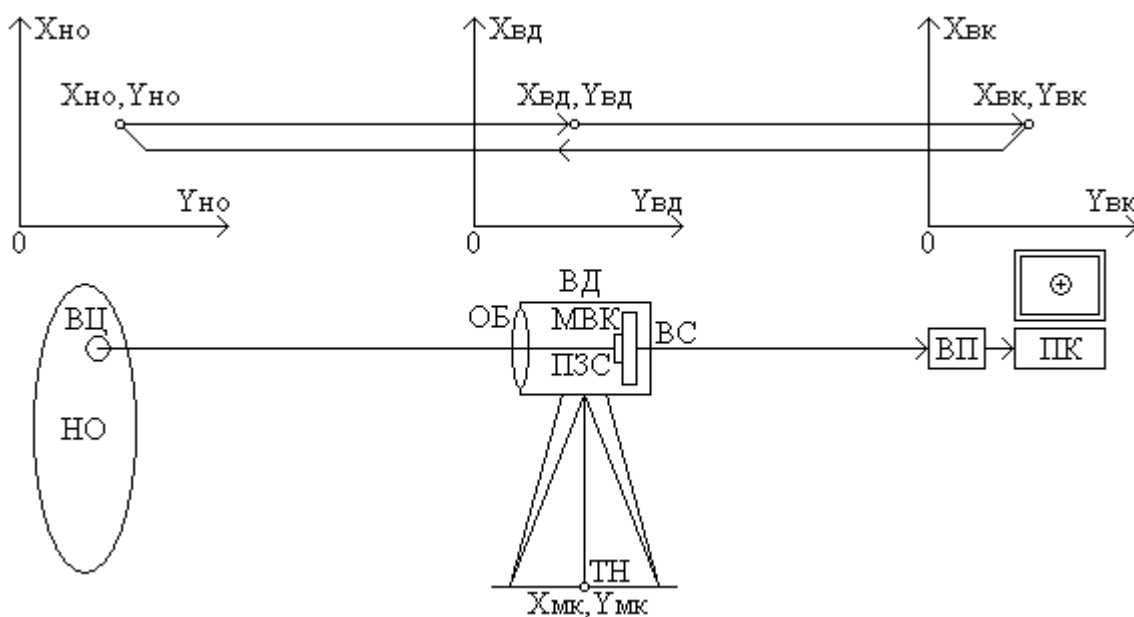


Рисунок 2.1 – Модель видеоизмерений и типовая схема видеоизмерительной системы

Визирная цель ВЦ закреплена на наблюдаемом объекте НО и находится в поле зрения видеодатчика ВД, установленного в точке наблюдения ТН с координатами  $X_{мк}, Y_{мк}$  в местной координатной системе. Видеодатчик содержит объектив ОБ и модуль видеокамеры МВК с ПЗС-матрицей.

Выходной стандартный телевизионный видеосигнал ВС видеодатчика в видеопроцессоре ВП преобразуется из аналоговой в цифровую форму, полученный массив цифровых данных передается в компьютер ПК, обрабатывается в нем специальной прикладной компьютерной программой и вычисляются искомые параметры видеоизмерений.

Модель связывает между собой координаты точек видеокadra  $X_{BK}^*, Y_{BK}^*$  с координатами визирной цели  $X_{BЦ}, Y_{BЦ}$  в координатной системе наблюдаемого объекта в плоскости, перпендикулярной к оптической оси видеодатчика:

$$X_{BЦ} = k_X X_{BK}^* + X_{МК}, \quad Y_{BЦ} = k_Y Y_{BK}^* + Y_{МК}, \quad (2.1)$$

где  $k_X, k_Y$  - масштабные коэффициенты в направлениях координатных осей видеокadra, определяемые на основе калибровочных измерений, мм/дискрет;  $X_{МК}, Y_{МК}$  - координаты видеодатчика в местной координатной системе, мм.

В соответствии с представленной моделью возможны следующие варианты функционирования типовой видеоизмерительной системы:

- Видеодатчик установлен на неподвижном основании, а наблюдаемый объект перемещается с некоторой скоростью  $V_{НО}$ .

Чтобы погрешность видеоизмерений не превышала допустимого значения  $\Delta$ , в соответствии с теоремой Котельникова частота видеоизмерений должна удовлетворять неравенство:

$$f \geq \frac{2V_{НО}}{\Delta}. \quad (2.2)$$

Например, при допустимой погрешности определения координат точки наблюдаемого объекта  $\Delta = 1\text{мм}$  и скорости перемещения  $V = 5\text{мм/с}$ , частота видеоизмерений должна быть не менее 10Гц, которая не может быть обеспечена с помощью традиционных и не всегда обеспечивается с помощью новейших геодезических методов и средств измерений.

- Видеодатчик установлен на подвижном основании, перемещаемом с некоторой скоростью  $V_{ВД}$ .

Для удовлетворения указанного условия должно выполняться неравенство:

$$f_{ВИ} \geq \frac{2(\overrightarrow{V_{ВД}} - \overrightarrow{V_{НО}})}{\Delta}. \quad (2.3)$$

Если на наблюдаемом объекте закрепить одну визирную цель (круглый полупроводниковый светодиод), то вычисляются:

- По известным формулам координаты центра изображения визирной цели в видеокадре, выраженные в условных единицах – дискретах (пикселях) и в линейной мере (мм):

$$\begin{aligned} X^* &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^* \quad Y^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^* , \\ X &= k_X X^* \quad Y = k_Y Y^* \end{aligned} \quad (2.4)$$

где  $n$  – число точек изображения в видеокадре;

$X_i^*, Y_i^*$  - координаты точек изображения в видеокадре, дискрет;

$X, Y$  - координаты точек изображения в видеокадре, мм;

$k_X, k_Y$  – масштабные коэффициенты в направлениях координатных осей видеокадра, мм/дискрет.

- По известным формулам смещения визирной цели (наблюдаемого объекта) в направлениях координатных осей видеокадра, мм:

$$\begin{aligned} \Delta X &= k_X (X^* - X_0^*) \\ \Delta Y &= k_Y (Y^* - Y_0^*) \end{aligned} \quad (2.5)$$

где  $X_0^*, Y_0^*$  – начальные координаты центра изображения ВЦ в видеокадре, дискрет.

- По полученным автором формулам числа дискретов, выделяемых в направлениях координатных осей и в целом в видеокадре, при условии выделения  $n \approx 2d$  контурных точек наблюдаемого изображения в видеокадре:

$$N_x^* \approx N_x \sqrt{2d^* mK}, \quad N_y^* \approx N_y \sqrt{2d^* mK}, \quad N^* \approx 2N_x N_y d^* mK, \quad (2.6)$$

где  $N_x, N_y$  – число точек, выделяемых в стандартном телевизионном видеокадре в направлениях координатных осей X, Y видеокадра;

$d^*$  - диаметр изображения в видеокадре, дискрет;

$m$  – число изображений, обрабатываемых в видеокадре;

$K$  – число видеокадров, обрабатываемых в каждом видеоизмерении.

- По известным формулам угловой диапазон видеоизмерений в направлениях координатных осей видеокадра, радиан:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_x &= \operatorname{arctg} \frac{M_x}{f} = \operatorname{arctg} \frac{D_x}{S} \\ \Delta\varphi_y &= \operatorname{arctg} \frac{M_y}{f} = \operatorname{arctg} \frac{D_y}{S} \end{aligned} \quad (2.7)$$

где  $M_x, M_y$  – эффективные размеры ПЗС-матрицы, мм;

$f$  - фокусное расстояние объектива видеодатчика, мм;

$D_x, D_y$  – диапазоны видеоизмерений, мм;

$S$  – расстояние от видеодатчика до визирной цели, мм.

- По известным формулам линейный диапазон видеоизмерений в направлениях координатных осей видеокадра:

$$D_x = S \frac{M_x}{f}$$

$$D_y = S \frac{M_y}{f} \quad (2.8)$$

- По известной формуле диаметр круглого изображения визирной цели в видеокадре, выраженный числом сканирующих его телевизионных строк, дискрет:

$$d^* = \frac{dfN}{SM}, \quad (2.9)$$

где  $d$  – диаметр визирной цели, мм.

- По известным формулам визирные углы к координатным осям видеокадра, радиан:

$$\varphi_x = \text{arctg} \frac{M_x}{fN_x} (X^* - X_0^*)$$

$$\varphi_y = \text{arctg} \frac{M_y}{fN_y} (Y^* - Y_0^*) \quad (2.10)$$

где  $X^*, Y^*$  и  $X_0^*, Y_0^*$  - соответственно координаты точки изображения визирной цели (контролируемого объекта) и координаты визирной оси видеодатчика в видеокадре, дискрет.

Если на наблюдаемом объекте закрепить две визирные цели, то по известным формулам вычисляются:

- Расстояние между центрами изображений в видеокадре, дискрет и мм:

$$L^* = \sqrt{(X_2^* - X_1^*)^2 + (Y_2^* - Y_1^*)^2}$$

$$L = \sqrt{k_X^2 (X_2^* - X_1^*)^2 + k_Y^2 (Y_2^* - Y_1^*)^2}, \quad (2.11)$$

где  $X_1^*, Y_1^*$  и  $X_2^*, Y_2^*$  - координаты центров изображений в видеокадре, дискрет;  
 $k_X, k_Y$  – масштабные коэффициенты в направлениях координатных осей видеокадра, мм/дискрет.

- Расстояние от видеодатчика до наблюдаемого объекта мм:

$$S = \frac{C}{L^*} - S_0, \quad (2.12)$$

где  $C$  – константа, определяемая на основе калибровочных измерений, мм·дискрет;

$L^*$  - расстояние между центрами изображений в видеокадре, дискрет;

$S_0$  – начальное расстояние (место «нуля» прибора), определяемое на основе калибровочных измерений, мм.

- Относительная погрешность измерения расстояния от видеодатчика до контролируемого объекта при  $S_0=0$ :

$$\eta = \frac{\Delta S}{S} = -\frac{\Delta L^*}{L^*}. \quad (2.13)$$

- Углы линии, соединяющей центры изображений визирных целей в видеокадре, радиан:

$$\varphi = \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \text{ если числитель и знаменатель } \geq 0$$

$$\varphi = \pi + \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \text{ если числитель } \geq 0, \text{ а знаменатель } \leq 0$$

или числитель и знаменатель  $\leq 0$

$$\varphi = 2\pi + \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \text{ если числитель } \leq 0, \text{ а знаменатель } \geq 0$$
(2.14)

Если на наблюдаемом объекте закрепить четыре визирные цели, расположенные на окружности на взаимно перпендикулярных диаметрах, то по полученным автором формулам вычисляются масштабные коэффициенты в направлениях координатных осей видеокадра:

$$k_x = D \sqrt{\frac{(Y_3^* - Y_1^*)^2 - (Y_4^* - Y_2^*)^2}{(Y_4^* - X_2^*)^2 (Y_3^* - Y_1^*)^2 - (X_3^* - X_1^*)^2 (Y_4^* - Y_2^*)^2}}$$

$$k_y = D \sqrt{\frac{(X_3^* - X_1^*)^2 - (X_4^* - X_2^*)^2}{(X_3^* - X_1^*)^2 (Y_4^* - Y_2^*)^2 - (X_4^* - X_2^*)^2 (Y_3^* - Y_1^*)^2}}$$
(2.15)

где  $X_1^*, Y_1^* - X_4^*, Y_4^*$  - координаты центров изображений четырех визирных целей в видеокадре, дискрет;

$D$  - диаметр окружности, на которой установлены визирные цели, мм.

Формулы (2.15) получены решением системы уравнений:

$$\begin{aligned} k_x^2 (X_3^* - X_1^*)^2 + k_y^2 (Y_3^* - Y_1^*)^2 &= D^2 \\ k_y^2 (X_4^* - X_2^*)^2 + k_x^2 (Y_4^* - Y_2^*)^2 &= D^2 \end{aligned}$$
(2.16)

При выполнении видеоизмерений также вычисляются:

- По известным формулам координаты точки видеокадра после его поворота на угол  $\varphi$ , дискрет:



$$X_{\varphi}^* = X^* \cos \varphi + Y^* \sin \varphi, \quad Y_{\varphi}^* = Y^* \cos \varphi - X^* \sin \varphi, \quad (2.17)$$

где  $X^*, Y^*$  - координаты точки до поворота видеокадра, дискрет;

$X_{\varphi}^*, Y_{\varphi}^*$  - координаты точки после поворота видеокадра, дискрет.

- По полученной автором формуле горизонтальный угол между направлениями (азимутами), передаваемыми с одного горизонта на другой, угл.сек.:

$$\varphi = \frac{648000}{\pi} \cdot \frac{1}{m} \sum_1^m \operatorname{arctg} \frac{X_m^* Y_{m\varphi}^* - X_{m\varphi}^* Y_m^*}{X_m^* X_{m\varphi}^* + Y_m^* Y_{m\varphi}^*} - \varphi_0, \quad (2.18)$$

где  $X_m^*, Y_m^*$  и  $X_{m\varphi}^*, Y_{m\varphi}^*$  - соответственно координаты центров изображений визирных целей до и после поворота видеокадра, дискрет;

$m$  – число визирных целей (окон матрицы круглых окон), шт.;

$\varphi_0$  - начальный угол (место «нуля» прибора), угл.сек.

- По известным формулам координаты центра и радиус вероятнейшей окружности:

$$X_0^* = -\frac{1}{2}A, \quad Y_0^* = -\frac{1}{2}B, \quad R_0^* = \frac{1}{2}\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}, \quad (2.19)$$

где

$$\begin{aligned} A &= \frac{bfn - d^2 f - egn + deh + cdg - bch}{abn - ad^2 - e^2 n + 2cde - bc^2} \\ B &= \frac{agn - adh - efn + cdf + ceh - c^2 g}{abn - ad^2 - e^2 n + 2cde - bc^2}, \\ C &= \frac{abh - adg - e^2 h + ceg + def - bcf}{abn - ad^2 - e^2 n + 2cde - bc^2} \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned}
a &= \sum_1^m X_m^{*2}, \quad b = \sum_1^m Y_m^{*2}, \quad c = \sum_1^m X_m^*, \quad d = \sum_1^m Y_m^*, \quad e = \sum_1^m X_m^* Y_m^*, \\
f &= -\sum_1^m X_m^* (X_m^{*2} + Y_m^{*2}), \quad g = -\sum_1^m Y_m^* (X_m^{*2} + Y_m^{*2}), \quad h = -\sum_1^m (X_m^{*2} + Y_m^{*2})
\end{aligned} \tag{2.21}$$

$$\begin{aligned}
R_m^* &= \sqrt{(X_m^* - X_0^*)^2 + (Y_m^* - Y_0^*)^2}, \\
\Delta R &= k(R_m^* - R_0^*)
\end{aligned} \tag{2.22}$$

где  $n$  – количество точек в изображении;

$X_m^*, Y_m^*$  - координаты центров изображений в видеокадре, дискрет.

$R_m^*$  - радиус окружности, приведенной к центру вероятнейшей окружности, дискрет;

$\Delta R$  - смещение точки от вероятнейшей окружности, мм.

- По известным формулам смещения контролируемых точек наблюдаемого объекта от вписанной вероятнейшей плоскости:

$$\Delta Y_m = Y_m - (AX_m + BY_m + C)_m, \tag{2.23}$$

$$\begin{aligned}
A \sum_1^m X_m^2 + B \sum_1^m X_m Y_m + C \sum_1^m X_m - \sum_1^m X_m Y_m &= 0 \\
A \sum_1^m X_m Y_m + B \sum_1^m Y_m^2 + C \sum_1^m Y_m - \sum_1^m Y_m Z_m &= 0 \quad . \\
A \sum_1^m X_m + B \sum_1^m Y_m + nC - \sum_1^m Z_m &= 0
\end{aligned} \tag{2.24}$$

где  $X_m, Y_m, Z_m$  - координаты центров изображений визирных целей, мм.

- По известным формулам угловое и линейное разрешения видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений:

$$\delta_{X\varphi} = \frac{D_X(\varphi)}{N_X}, \quad \delta_{Y\varphi} = \frac{D_Y(\varphi)}{N_Y}, \quad \delta_X = \frac{D_X}{N_X}, \quad \delta_Y = \frac{D_Y}{N_Y}. \tag{2.25}$$

- По полученным автором эмпирическим формулам средняя квадратическая погрешность (СКП) угловых и линейных видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений:

$$m(\varphi) \approx 2\delta_{\varphi} \quad m \approx 2\delta. \quad (2.26)$$

На основе приведенных формул решается широкий круг специальных задач прикладной геодезии и других задач.

В **главе 3**: «Технические и программные средства видеоизмерений» даны примеры реализации узлов видеоизмерительных систем, отмечены характерные особенности компьютерных программ, представлены методы повышения надежности и дан анализ основных источников погрешности видеоизмерений. В частности показано, что установкой оптимального порога яркости, заданием рамки измерений и выполнением ряда контрольных функций в значительной степени повышается надежность работы видеоизмерительных систем.

В **главе 4**: «Методы видеоизмерений и видеоизмерительные системы для решения специальных задач прикладной геодезии на различных сооружениях» представлено следующее:

- Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для мониторинга плановых и крутильных колебаний верха Главного Монумента в парке Победы на Поклонной горе в Москве. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.1 [1,34-35,39-40,42,47].

Визирные цели ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>3</sub>, закрепленные на отметке h=142 м и находятся в поле зрения видеодатчика ВД, установленного в основании сооружения.

Выходной стандартный телевизионный видеосигнал ВС, содержащий изображения ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>3</sub>, передается на рабочем месте оператора РМО в составе видеопроцессора ВП и компьютера ПК.

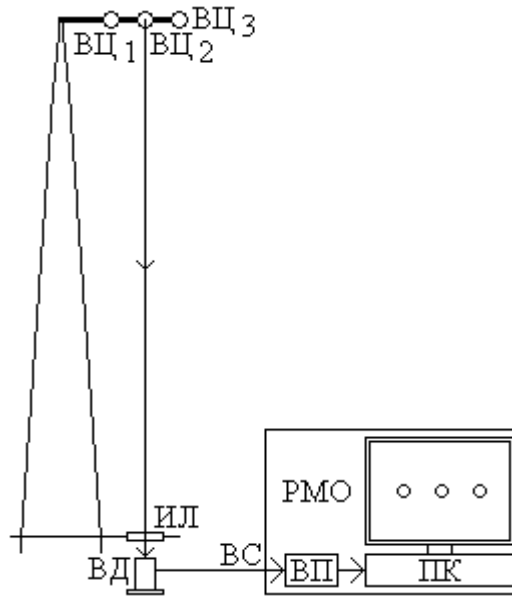


Рисунок 4.1 – Схема видеоизмерительной системы для мониторинга плановых и крутильных колебаний верха Главного Монумента в парке Победы на Поклонной горе в Москве

Параллельные смещения изображений визирных целей в видеокадре без учета влияния прочих факторов пропорциональны отклонениям, а повороты вокруг общего центра – поворотам верха сооружения относительно начального положения, что служит основой для видеоизмерений.

При выполнении калибровочных измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) начальные координаты  $X_{01}^*, Y_{01}^* - X_{03}^*, Y_{03}^*$  центров и начальные координаты  $X_0^*, Y_0^*$  общего центра изображений ВЦ в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. По (2.11) Расстояние  $L^*$  между центрами ВЦ1-ВЦ3 в видеокадре, дискрет.

Шаг 3. Масштабный коэффициент в видеокадре, мм/дискрет:

$$k = \frac{L}{L_x^*}, \quad (4.1)$$

где  $L$  – расстояние между центрами крайних визирных целей, мм;  
 $L^*$  - то же расстояние между центрами изображений в видеокадре, дискрет.

Шаг 4. Начальные отклонения  $X_0, Y_0$  верха сооружения в направлениях координатных осей видеокадра, мм.

Шаг 5. По (2.14) начальный угол  $\varphi_0$  поворота, радиан.

При выполнении рабочих измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) текущие (на момент выполнения измерений) координаты  $X_1, Y_1 - X_3, Y_3$  центров и координаты  $X, Y$  общего центра изображений визирных целей ВЦ в видеокадре, мм.

Шаг 2. По (2.5) искомые отклонения  $\Delta X, \Delta Y$  верха сооружения в направлениях координатных осей видеокадра, мм.

Шаг 3. По (2.14) угол  $\varphi$  поворота верха сооружения, радиан.

Шаг 4. Искомый угол поворота верха сооружения, угл.град.:

$$\Delta\varphi = \frac{180}{\pi}(\varphi - \varphi_0). \quad (4.2)$$

При фокусном расстоянии объектива  $f=300$ мм, модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/3 дюйма ( $M_x=4,8$ мм,  $M_y=3,6$  мм) и визирных целях диаметром  $d=20$ мм, закрепленных на расстояниях  $L=300$ мм, вычисляются:

- по (2.8) линейные диапазоны видеоизмерений отклонений верха сооружения от начального положения  $D_x=2300$ мм,  $D_y=1700$ мм;

- по (2.9) диаметр изображения визирной цели в видеокадре  $d^*=7$ дискрет.

- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси  $X$  видеокадра при компьютерной обработке  $m=3$  изображений визирных целей в  $K=2$  видеокадрах  $N=7000$ дискрет;

- по (2.25) и (2.26) угловое и линейное разрешения и СКП видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta_\varphi=3,7$ угл.мин.,  $m_\varphi=7,4$ угл.мин. и  $\delta=0,6$ мм.

Контрольные измерения на объекте дали следующие результаты, удовлетворяющие требованиям технического задания:

- диапазон угловых измерений, угл.град., не менее	$\pm 10$
- СКП угловых измерений, угл.мин., не более	7
- диапазон линейных измерений, мм, не менее	$\pm 800$
- СКП линейных измерений, мм, не более	1
- частота измерений, Гц	6

• Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для контроля плановых координат рабочих точек антенн фазово-корреляционного пеленгатора. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.2 [2,21-22,34-35,44].

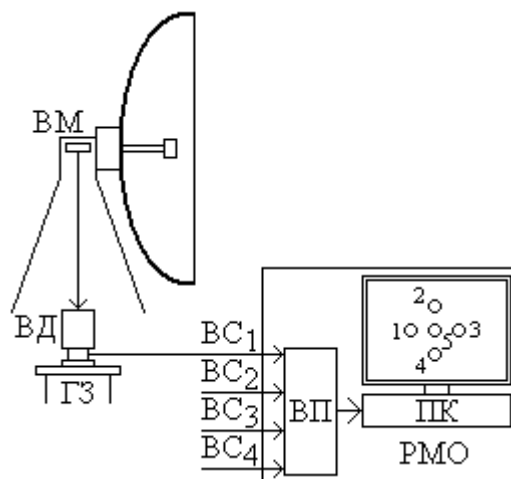


Рисунок 4.2 – Схема видеоизмерительной системы для оперативного контроля плановых координат РТ антенн КФП

Фазово-корреляционный пеленгатор содержит три рабочие антенны, установленные в вершинах прямоугольного равнобедренного треугольника и калибровочную антенну, установленную в середине гипотенузы длиной 85м.

В рабочих точках РТ антенн установлены визирные марки ВМ, находящиеся в полях зрения видеодатчиков ВД, закрепленных на геодезических знаках ГЗ под антеннами.

Видеосигналы  $BC_1$ - $BC_4$  передаются в видеопроцессор ВП, который вместе с компьютером ПК установлен на рабочем месте оператора РМО.

Положение изображения визирных целей ВМ в видеокадре без учета влияния прочих факторов пропорционально плановому положению РТ антенны относительно ГЗ, что служит основой для видеоизмерений.

При выполнении калибровочных измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) координаты  $X_1^*, Y_1^* - X_5^*, Y_5^*$  центров изображений визирных целей ВЦ в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. По (2.15) масштабные коэффициенты  $k_x, k_y$  в направлениях координатных осей видеокадра, мм/дискрет.

Шаг 3. Значения  $\sin\varphi, \cos\varphi$  и  $X_0, Y_0$  - параметры привязки координатных систем видеодатчиков к местной координатной системе.

При выполнении рабочих измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) текущие координаты  $X_5, Y_5$  центра изображения рабочей визирной цели ВЦ<sub>5</sub> в видеокадре, мм.

Шаг 2. Координаты  $X_{РТ}, Y_{РТ}$  РТ в местной координатной системе, мм.

При фокусном расстоянии объектива  $f=135$  мм, модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/3 дюйма, визирной цели диаметром  $d=3$  мм и высоте  $h=3,6$ м вычисляются:

- по (2.8) линейные диапазоны видеоизмерений в направлении координатной оси X видеокадра  $D_x=130$ мм;

- по (2.9) диаметр изображения визирной цели в видеокадре  $d^*=18$ дискрет;

- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси X видеокадра при компьютерной обработке  $m=1$  изображения визирной цели в  $K=4$  видеокадрах  $N=9200$ дискрет;

- по (2.25) и (2.26) линейное разрешение и СКП видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta=0,01\text{мм}$ ,  $m=0,02\text{мм}$ ;

Контрольные измерения на объектах дали следующие результаты, удовлетворяющие требования технического задания:

- |                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| - диапазон измерений, мм, не менее | $\pm 25$ |
| - СКП измерений, мм, не более      | 0,1      |
| - частота измерений, Гц            | 1        |

• Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для контроля высотных положений узлов сооружения. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.3 [3,8-9,11,34-35,40].

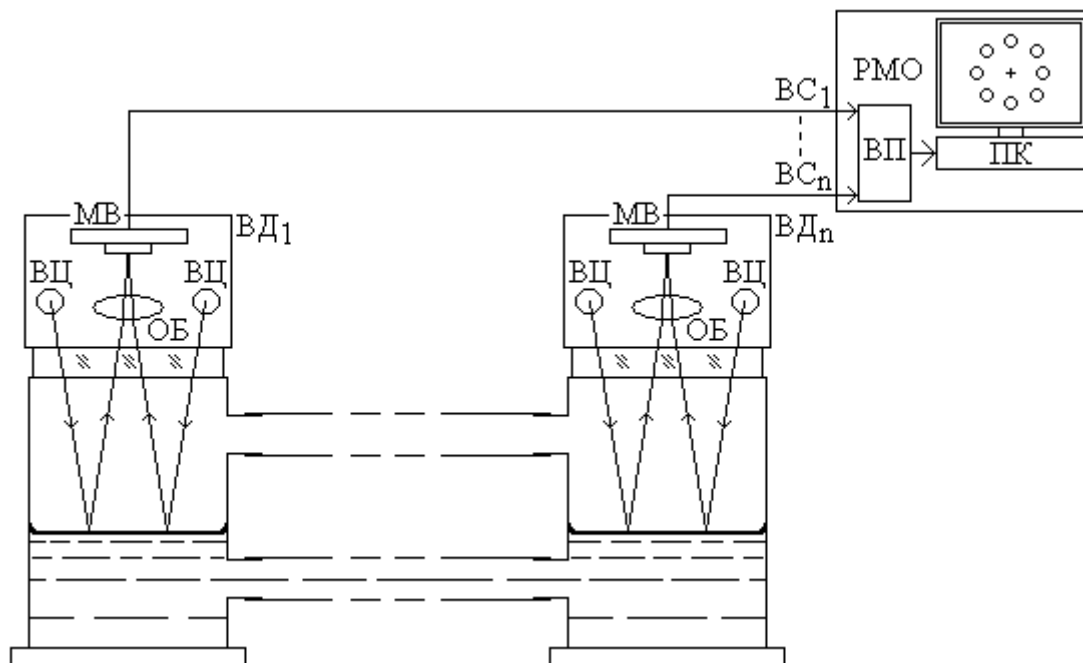


Рисунок 4.3 – Схема видеоизмерительной системы на основе видеогидростатического нивелира

Контроль выполняется с помощью видеогидростатического нивелира, сосуда которого закреплены на контролируемых узлах сооружения. На сосудах установлены видеодатчики  $ВД_1$ - $ВД_n$  видеоуровнемера, содержащие мо-



дуль видеокамеры МВ с ПЗС-матрицей, объектив ОБ и визирные цели ВЦ, установленные на окружности вокруг объектива ОБ.

Видеосигналы  $BC_1$ - $BC_n$  от  $ВД_1$ - $ВД_n$  передаются в видеопроцессор ВП, вместе с компьютером ПК установленный на рабочем месте оператора РМО.

Изображения ВЦ, отраженные от измеряемого уровня жидкости, в видеокадре устанавливаются на окружности, диаметр которой без учета влияния прочих факторов обратно пропорционален измеряемому уровню жидкости, что служит основой для видеоизмерений. При этом выполняется:

Шаг 1. По (2.4) вычисляются координаты  $X_m^*, Y_m^*$  центров изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. По (2.19) вычисляется радиус  $R^*$  вероятнейшей окружности, вписанной в центры изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 3. По (2.12) вычисляется уровень  $h$  жидкости в сосуде, мм.

Шаг 4. Вычислением разностей уровней жидкости в сосудах определяются искомые превышения контролируемых узлов сооружения.

С учетом фокусного расстояния объектива  $f=8$ мм, модуля видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/3 дюйма,  $m=4$  визирных целях диаметром  $d=3$  для диапазона  $h_{\min}=100$  и  $h_{\max}=150$ мм вычисляются:

- по (2.9) диаметры изображений визирных целей в видеокадре, дискрет  $d_{\min}^*=19$ дискрет и  $d_{\max}^*=13$ дискрет;

- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси  $Y$  видеокадра при компьютерной обработке  $m=4$  изображений визирных целей в  $K=8$  видеокадрах  $N_{\min}=20000$ дискрет и  $N_{\max}=16600$ дискрет;

- по (2.13) относительная погрешность видеоизмерений  $\eta_{\text{вшт}}=0,5 \times 10^{-4}$  и  $\eta_{\max}=0,6 \times 10^{-4}$ ;

- по (2.26) и (2.27) линейное разрешение и СКП видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta=0,01$ мм и  $m=0,02$ мм.

Аналогичная видеогидростатическая система с четырьмя сообщающимися сосудами, установленная в основании Главного Монумента в парке По-

беды на Поклонной горе в Москве, обеспечивает следующие параметры, удовлетворяющие требования технического задания:

- диапазон измерений, мм, не менее	$\pm 25$
- СКП измерений, мм, не более	0,5
- частота видеоизмерений, Гц	1

- Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для контроля положения микропроходческого щита относительно проектного направления. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.4 [14,34-35].

Видеодатчик ВД, выполненный на основе теодолита 3Т5, установлен над исходной точкой ИТ. Визирная цель ВЦ<sub>0</sub> служит для привязки координатной системы ВД к местной координатной системе. Визирные цели ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>2</sub> закреплены на микропроходческом щите. Видеосигнал ВС передается в рабочее место оператора РМО с видеопроцессором ВП и компьютером ПК.

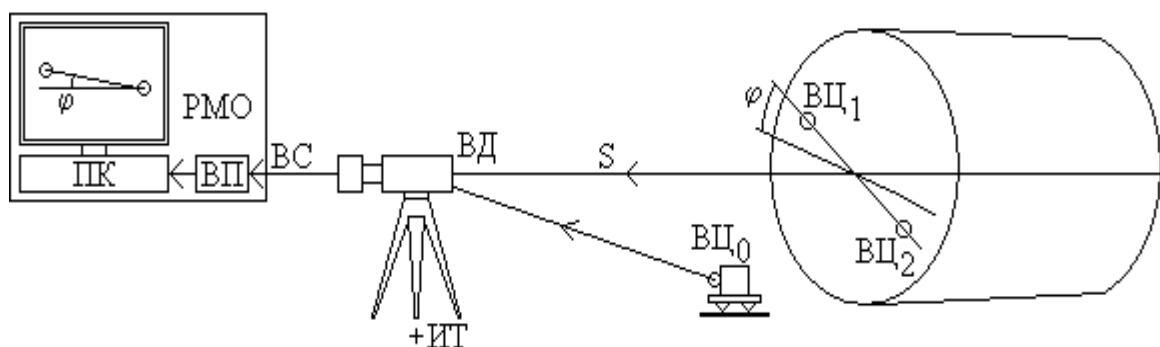


Рисунок 4.4 - Схема видеоизмерительной системы для контроля положения микропроходческого щита относительно проектного направления

При установке визирной оси ВД в проектное, а координатной оси X - в горизонтальное положения изображения ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>2</sub> в видеокадре без учета влияния прочих факторов располагаются пропорционально поворотам и смещениям микропроходческого щита от проектного направления, что служит основой для видеоизмерений.

При выполнении калибровочных измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) начальные координаты  $X_{01}^*, Y_{01}^* - X_{02}^*, Y_{02}^*$  центров и координаты  $X_{0Ц}^*, Y_{0Ц}^*$  общего центра изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. По (2.11) расстояние  $L^*$  между центрами изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 3. По (2.14) начальный угол  $\varphi_0$  поворота микропроходческого щита вокруг проектного направления, радиан.

Шаг 4. По (2.15) масштабный коэффициент  $k$  в видеокадре, мм/дискрет.

Шаг 5. Начальные смещения  $\Delta X_0, \Delta Y_0$  микропроходческого щита от проектного направления, мм.

Шаг 6. По (2.12) начальное расстояние  $S_H$  от ИТ до микропроходческого щита, м.

При выполнении рабочих измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) текущие координаты  $X_1^*, Y_1^* - X_2^*, Y_2^*$  центров и координаты  $X_{Ц}, Y_{Ц}$  общего центра изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. По (2.11) расстояние  $L^*$  между центрами изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 3. По (2.14) угол  $\varphi$  поворота микропроходческого щита вокруг проектного направления, радиан.

Шаг 4. По (2.15) масштабный коэффициент  $k$  в видеокадре, мм/дискрет.

Шаг 5. Смещения  $\Delta X, \Delta Y$  микропроходческого щита от заданного (проектного) направления, мм.

Шаг 6. По (2.12) расстояние  $S$  от исходной точки ИТ до микропроходческого щита, м.

Шаг 7. По (2.5) искомые смещения  $\Delta X, \Delta Y$  микропроходческого щита от проектного направления, мм.

Шаг 8. Искомый угол  $\Delta\varphi$  поворота микропроходческого щита относительно исходного положения, угл.град.

Шаг 9. Расстояние проходки  $\Delta S = S - S_H$ , м.

При фокусном расстоянии объектива  $f=239\text{мм}$  и ПЗС-матрице  $1/3$  дюйма для расстояния  $S=100\text{м}$  вычисляются:

- по (2.8) линейный диапазон видеоизмерения в направлении координатной оси  $X$  видеокадра  $D=2000$  дискрет;
- по (2.9) диаметр изображения визирной цели в видеокадре  $d^*=4$  дискрет;
- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси  $X$  видеокадра при компьютерной обработке  $K=4$  видеокадров  $N=4300$ ;
- по (2.25) и (2.26) угловое и линейное разрешения и СКП видеоизмерений  $\delta_\varphi=5\text{угл.мин.}$ ,  $m_\varphi=10\text{угл.мин.}$ ,  $\delta=0,5\text{мм}$  и  $m=1\text{мм}$ .

Заводские испытания в Туле на дистанции  $100\text{м}$  дали следующие результаты, удовлетворяющие требованиям технического задания:

- |                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| - диапазон измерений, мм, не менее | $\pm 500$ |
| - СКП измерений, мм, не более      | 1         |
| - частота измерений, Гц            | 1         |

• Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для измерения прогибов главных несущих балок перекрытия зрительного зала Государственного Кремлевского Дворца в Москве. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.5 [7,19,34-35].

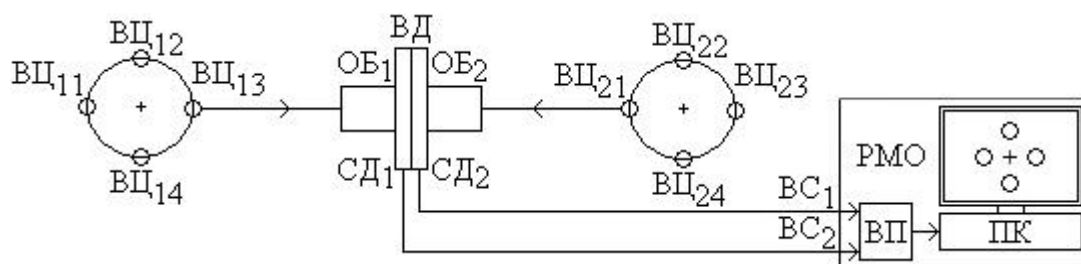


Рисунок 4.5 – Схема видеоизмерительной системы для измерения прогибов главных несущих балок перекрытия зрительного зала Государственного Кремлевского Дворца

Измерения выполняются с помощью видеостворофиксатора, содержащего видеодатчик ВД, установленный в середине несущей балки, визирные цели ВЦ<sub>11</sub>-ВЦ<sub>14</sub> и ВЦ<sub>21</sub>-ВЦ<sub>24</sub>, закрепленные на концах балок, и рабочее место оператора РМО с видеопроцессором ВП и компьютером ПК. Визирные марки содержат визирные цели, расположенные на окружностях, центрами которых задается створ.

Видеодатчик содержит два субдатчика СД<sub>1</sub>-СД<sub>2</sub>, визирные оси которых совмещены друг с другом и направлены в противоположные стороны. При этом их координатные оси X установлены горизонтально.

В исходном состоянии, когда ВД находится в створе, изображения ВЦ располагаются в центрах соответствующих видеокадров, а при отклонении контролируемого объекта от створа без учета влияния прочих факторов изображения ВЦ пропорционально смещаются, что служит основой видеоизмерений.

При выполнении калибровочных измерений ВД устанавливается в створе и вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) координаты  $X_{11}^*, Y_{11}^* - X_{14}^*, Y_{14}^*$  и  $X_{21}^*, Y_{21}^* - X_{24}^*, Y_{24}^*$  центров и координаты  $X_{01}^*, Y_{01}^*$  и  $X_{02}^*, Y_{02}^*$  общих центров изображений визирных целей в видеокадрах, дискрет.

Шаг 2. По (2.15) масштабные коэффициенты  $k_{1X}, k_{1Y}$  и  $k_{2X}, k_{2Y}$  в направлениях координатных осей видеокадров, мм/дискрет.

Шаг 3. Начальные смещения изображений визирных целей в направлениях координатных осей видеокадров, мм:

$$\Delta_{0X} = \frac{k_{1X}(X_{01}^* - X_{02}^*)}{2}, \Delta_{0Y} = \frac{k_{1Y}(Y_{01}^* + Y_{02}^*)}{2}. \quad (4.3)$$

При выполнении рабочих измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) текущие координаты  $X_1, Y_1$  и  $X_2, Y_2$  центров изображений визирных целей в видеокадрах, мм.

Шаг 2. Искомые смещения контролируемого объекта от створа, задаваемого центрами визирных целей ВЦ1-ВЦ2, в направлениях координатных осей видеокадров (в горизонтальной и вертикальной плоскостях), мм:

$$\Delta_x = \frac{X_2 - X_1}{2} - \Delta_{0x}, \quad \Delta_y = \frac{Y_2 + Y_1}{2} - \Delta_{0y}. \quad (4.4)$$

При фокусном расстоянии объектива  $f=112\text{мм}$ , модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/3 дюйма,  $m=4$  визирных целях диаметром  $d=5\text{мм}$  и длине створа  $S=75\text{м}$  вычисляются:

- по (2.8) линейные диапазоны видеоизмерений в направлениях координатных осей видеокадра  $D_x=1600\text{мм}$  и  $D_y=1200\text{мм}$ ;
- по (2.9) диаметр изображения визирной цели  $d^*=2,4\text{дискрет}$ ;
- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлениях координатных осей видеокадра при компьютерной обработке  $m=4$  изображений ВЦ в  $K=4$  видеокадрах  $N_{ЦХ}=7500\text{дискрет}$  и  $N_{ЦУ}=5600\text{дискрет}$ ;
- по (2.25) и (2.26) угловое и линейное разрешения и СКП видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta=0,2\text{мм}$  и  $m=0,4\text{мм}$ .

По представленной схеме создана видеоизмерительная система для измерения деформаций главных несущих балок перекрытия зрительного зала Государственного Кремлевского Дворца.

Контрольные измерения на специальном стенде дали следующие результаты, удовлетворяющие требованиям технического задания:

- |                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| - диапазон измерений, мм, не менее | $\pm 100$ |
| - СКП измерений, мм, не более      | 0,2       |
| - частота измерений, Гц            | 0,5       |

- Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для передачи заданного направления (азимута) с неподвижного основания на подвижный объект в одном горизонте. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.6 [28,34-35, 46].

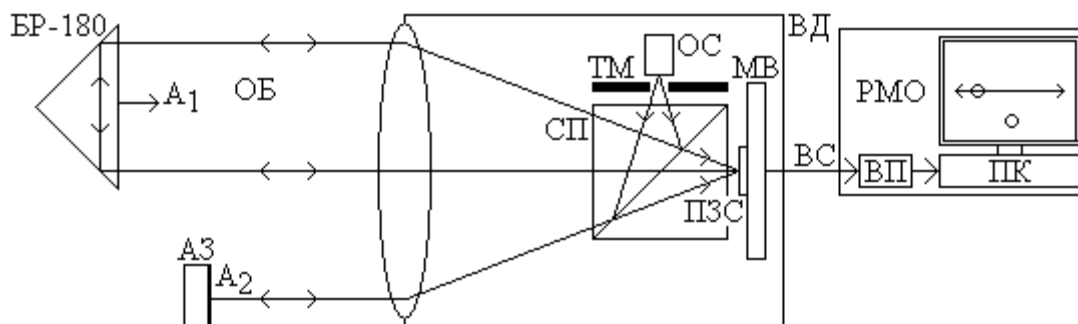


Рисунок 4.6 – Схема видеоизмерительной системы для передачи заданного направления (азимута) с неподвижного основания на подвижный объект в одном горизонте

В схеме используется видеоавтоколлиматор, видеодатчик ВД которого и автоколлимационное зеркало АЗ установлены на неподвижном основании, а призма БР-180 закреплены на подвижном объекте. Нормальными к призме БР-180 и автоколлимационному зеркалу АЗ задаются направления  $A_1$  и  $A_2$ . Координатная ось X видеодатчика (ПЗС-матрицы) установлена горизонтально.

Видеодатчик ВД содержит объектив ОБ и светоделительную призму-куб СП, на смежных гранях которой в фокальных плоскостях объектива ОБ закреплены ПЗС-матрица, содержащаяся в модуле видеокамеры МВ, и тест-марка ТМ, выполненная в виде круглого окна, освещенного светодиодным осветителем ОС.

Изображение тест-марки в параллельных лучах света с помощью объектива направляется на призму БР-180 и автоколлимационное зеркало, отражается от них и проецируется на ПЗС-матрицу. В результате в видеокадре наблюдаются два круглых изображения, взаимные положения которых зави-

сят от угла между направлений  $A_1$  и  $A_2$ , что служит основой для видеоизмерений.

При выполнении калибровочных измерений вычисляются координаты центра неподвижного изображения тест-марки в видеокадре, служащие в качестве констант, а при выполнении рабочих измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) координаты  $X_1^*, Y_1^*$  и  $X_2^*, Y_2^*$  центров изображений тест-марки в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. Искомый горизонтальный угол между указанными направлениями, радиан:

$$\varphi_x = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{M_x}{fN_x} (X_2^* - X_1^*). \quad (4.5)$$

Шаг 3. Искомое направление (азимут)  $A_1 = A_2 + \varphi_x$ .

При фокусном расстоянии объектива  $f = 300$  мм, модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/2 дюйма, диаметре окна тест-марки  $d = 0,3$  мм вычисляются:

- по (2.9) диаметр изображения окна тест-марки в видеокадре  $d^* = 36$  дискрет;

- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси  $X$  видеокадра при компьютерной обработке  $m = 1$  изображения тест-марки в  $K = 8$  видеокадрах  $N_{ХЦ} = 18400$  дискрет;

- по (2.7) угловой диапазон видеоизмерений  $\Delta\varphi_x = 70$  угл. мин.;

- по (2.25) и (2.26) угловое разрешение и СКП видеоизмерений  $\delta_\varphi = 0,2$  угл. сек. и  $m = 0,4$  угл. сек.

По приведенной схеме созданы комплекты аппаратуры для передачи азимута с берега на корабль, находящийся на плаву.

Контрольные измерения на объектах дали следующие результаты, удовлетворяющие требованиям технического задания:

- диапазон измерений, угл. мин., не менее  $\pm 20$
- СКП измерений, угл. сек., не более  $0,2$



- Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для передачи заданного направления (азимута) с одного горизонта на другой. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.7 [4,10,12-13,15-16,34-35].

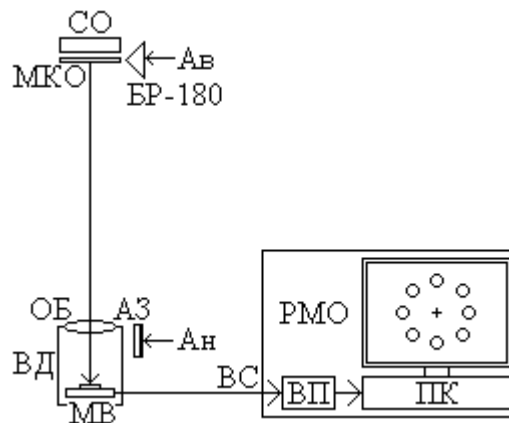


Рисунок 4.7 – Схема видеоизмерительной системы для передачи заданного направления (азимута) с одного горизонта на другой

Схема содержит вертикальный видеоканал, на верхнем горизонте которого установлена матрица круглых окон МКО, освещенная светодиодом СО, и жестко связанная с МКО призма БР-180, нормалью к которой задается направление верхнего горизонта  $A_B$ . На нижнем горизонте установлен видеодатчик ВД, с которым жестко связано автоколлимационное зеркало АЗ, нормалью к которому задается направление нижнего горизонта  $A_H$ . Визирная ось видеодатчика установлена вертикально, матрица круглых окон – горизонтально. Схема также содержит рабочее место оператора РМО с видеопроцессором ВП и компьютером ПК.

При изменении угла между заданными направлениями в проекции на горизонтальную плоскость без учета влияния прочих факторов изображения окон матрицы круглых окон МКО в видеокадре поворачиваются на пропорциональный угол, что служит основой для видеоизмерений.

При выполнении калибровочных измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) начальные координаты  $X_{m0}^*, Y_{m0}^*$  центров и координаты  $X_0^*, Y_0^*$  общего центра изображений окон МКО в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. Координаты  $X_m^*, Y_m^*$  центров изображений окон МКО в видеокадре, приведенные к общему центру, дискрет:

$$X_m^* = Y_{m0}^* - X_0^*, \quad Y_m^* = Y_{m0}^* - Y_0^*. \quad (4.6)$$

При выполнении рабочих измерений вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) текущие координаты  $X_{m\varphi}^*, Y_{m\varphi}^*$  центров изображений окон МКО в видеокадре, приведенные к общему центру, дискрет.

Шаг 2. Координаты  $X_{m\varphi}^*, Y_{m\varphi}^*$  центров изображений окон МКО в видеокадре, приведенные к общему центру, дискрет.

Шаг 3. По (2.18) искомый угол  $\varphi$  между направлениями на разных горизонтах в проекции на горизонтальную плоскость, угл.сек.

Шаг 4. Передаваемое направление (азимут)  $A_H = A_B + \varphi$ .

При фокусном расстоянии объектива  $f = 112\text{мм}$ , модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/3 дюйма и перепаде высот  $h=1,6\text{м}$  вычисляются:

- по (2.9) диаметр изображения окна МКО в видеокадре  $d^* = 11$  дискрет;
- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси  $Y$  видеокадра при компьютерной обработке  $m=72$  изображений окон МКО в  $K=4$  видеокадрах  $N_{ЦУ}=45000$  дискрет;
- по (2.7) угловой диапазон видеоизмерений  $\Delta\varphi_Y = 110$  угл.мин.;
- по (2.25) и (2.26) угловое разрешение и СКП видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta_\varphi = 0,15$  угл.сек. и  $m_\varphi = 0,3$  угл.сек.

Вертикальный видеоканал реализуется также по другим, разработанным автором, схемам [12-13, 15-16, 31].

Контрольные измерения на объектах дали следующие результаты, удовлетворяющие требованиям технического задания:

- диапазон угловых измерений, угл.град., не менее  $\pm 5$

- СКП измерений, угл.сек., не более 1,7
- Частота измерений, Гц 0,1

- Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для мониторинга деформаций несущих конструкций (тубингов) Лефортовского тоннеля глубокого заложения в Москве. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.8 [34-35,49].

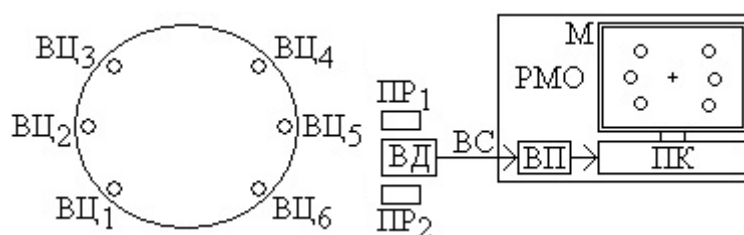


Рисунок 4.8 – Схема мобильной видеоизмерительной системы для мониторинга деформаций несущих конструкций (тубингов) Лефортовского тоннеля глубокого заложения в Москве

Визирные цели ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>6</sub> установлены на несущих конструкциях в заданных сечениях тоннеля. Видеодатчик ВД и прожекторы ПР<sub>1</sub>-ПР<sub>2</sub> установлены на крыше, а рабочее место оператора РМО с видеопроцессором ВП и компьютером ПК - в салоне автомобиля «Газель».

Видеоизмерения выполняются при кратковременных (около 1 мин.) остановках автомобиля на расстоянии  $S=30 \pm 1$  м перед заданным сечением тоннеля, во время которых компьютерной программой вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) координаты  $X_m^*, Y_m^*$  центров изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. По (2.19) координаты  $X_0^*, Y_0^*$  центра и радиус  $R^*$  вероятнейшей окружности, дискрет.

Шаг 3. Масштабный коэффициент  $k = R / R^*$  в видеокадре, мм/дискрет.

Шаг 4. По (2.22) искомые радиусы и смещения визирных целей от вероятнейшей окружности, мм.

При фокусном расстоянии объектива  $f=24\text{мм}$ , модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/3 дюйма и диаметре визирных целей  $d=150\text{мм}$  вычисляются:

- по (2.8) линейный диапазон видеоизмерения в направлении координатной оси  $X$  видеокадра  $D_X=6000\text{мм}$ ;
- по (2.9) диаметр изображения визирной цели в видеокадре,  $d^*=19$  дискрет;
- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси  $X$  видеокадра при компьютерной обработке  $m=1$  изображения визирной цели в  $K=4$  видеокадрах  $N_{XII}=9400$  дискрет;
- по (2.25) и (2.26) линейное разрешение и СКП видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta=0,6\text{мм}$  и  $m=1,2\text{мм}$ .

Контрольные измерения на объекте дали следующие результаты, удовлетворяющие требованиям технического задания:

- диапазон измерений, мм, не менее  $\pm 100$
- СКП измерений, мм, не более 1

• Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для измерения весовых деформаций рефлектора большой параболической антенны ТНА-1500. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.9 [34-35,37].

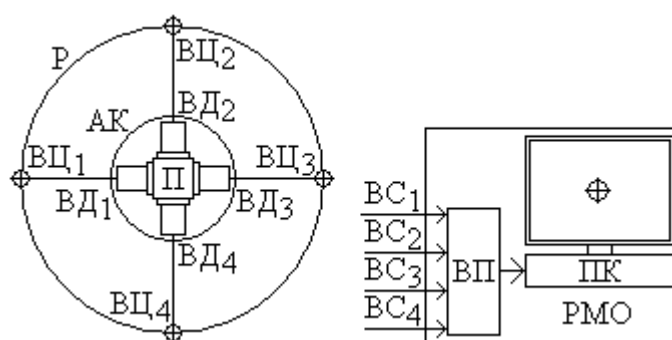


Рисунок 4.9 - Схема видеоизмерительной системы для измерения весовых деформаций рефлектора большой параболической антенны ТНА-1500

Видеодатчики  $ВД_1-ВД_4$  закреплены на призме  $\Pi$  и установлены на аппаратурной кабине  $АК$  так, что их оптические оси и координатные оси  $X$  не-

изменно лежат в одной плоскости. Визирные цели ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>4</sub> закреплены на краях рефлектора Р антенны и находятся в полях зрения видеодатчиков.

Видеосигналы ВС<sub>1</sub>-ВС<sub>4</sub> передаются в видеопроцессор ВП, который вместе с компьютером ПК установлен на рабочем месте оператора РМО.

При изменении угла места антенны рефлектор Р и аппаратурная кабина АК испытывают весовые деформации, смещающие изображения визирных целей в видеокадрах. Влияние деформаций аппаратурной кабины на результаты видеоизмерений исключается вычислением смещений визирных целей относительно вероятнейшей плоскости, вписанной в их центры.

Видеоизмерения выполняются при наклонах рефлектора Р с шагом  $6^0$  в диапазоне 0 -  $90^0$ . На каждом шаге компьютерной программой вычисляются:

Шаг 1. По (2.4) координаты  $X_m^*, Y_m^*$  центров и координаты  $X_0^*, Y_0^*$  общего центра изображений ВЦ в видеокадре, дискрет.

Шаг 2. По (2.19) радиус  $R_B^*$  вероятнейшей окружности, на которой располагаются центры изображений визирных целей в видеокадре, дискрет.

Шаг 3. Масштабный коэффициент  $k$  в видеокадре, мм/дискрет.

Шаг 4. По (2.23) смещения  $\Delta Y_m$  ВЦ от вероятнейшей плоскости, мм.

При фокусном расстоянии объектива  $f=500$ мм, модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/3 дюйма,  $m=4$  визирных целях с  $d=5$ мм вычисляются:

- по (2.8) линейный диапазон видеоизмерений в направлении координатной оси X видеокадра  $D_X=300$ мм;

- по (2.9) диаметр изображений визирных целей в видеокадре  $d^*=12$ дискрет;

- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси X видеокадра при компьютерной обработке  $m=4$  изображений визирных целей в  $K=4$  видеокадрах  $N_{ХЦ}=15000$ дискрет;

- по (2.25) и (2.26) линейное разрешение и СКП видеоизмерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta=0,02$ мм и  $m=0,04$ мм.

Результаты контрольных измерений на объекте дали следующие результаты, удовлетворяющие требования технического задания:

- диапазон измерений, мм, не менее ±150
- СКП измерений, мм, не более 0,1
- частота измерений, Гц 0,2

- Метод видеоизмерений и видеоизмерительная система для контроля геометрии внутренней вертикальной цилиндрической поверхности. Соответствующая схема представлена на рисунке 4.10 [6,27,30,34-35].

Видеодатчик ВД<sub>1</sub>, визирные цели ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>2</sub> и круговой источник света КИС закреплены на корпусе видеоконтрольного устройства ВКУ, перемещаемого с помощью троса ТС внутри контролируемой поверхности КП. При этом в поле зрения видеодатчика ВД<sub>1</sub> находится часть контролируемой поверхности, освещенная узким круговым светом.

Над контролируемой поверхностью закреплен видеодатчик ВД<sub>2</sub>, в поле зрения которого находятся визирные цели ВЦ<sub>1</sub>-ВЦ<sub>2</sub>. Контур изображения в видеокадре (на видеомониторе) повторяют контуры контролируемой поверхности, что служит основой для видеоизмерений.

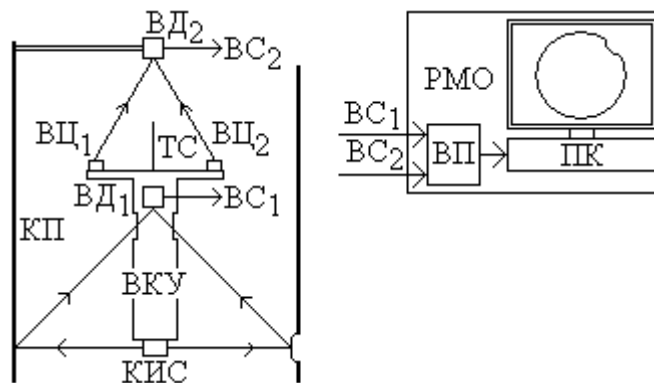


Рисунок 4.10 - Схема видеоизмерительной системы для контроля геометрии внутренней вертикальной цилиндрической поверхности

Видеоизмерения выполняются под управлением специальной прикладной компьютерной программы в следующей последовательности:

Шаг 1. ВКУ устанавливается в крайнем верхнем положении и вычисляются координаты верхних точек осевых линий в видеокдрах ВД<sub>1</sub> и ВД<sub>2</sub>.

Шаг 2. ВКУ устанавливается в крайнем нижнем положении и вычисляются координаты нижних точек осевых линий в тех же видеокдрах.

Шаг 3. ВКУ пошагово перемещается внутри КП и на каждом шаге решением уравнений осевых линий вычисляются текущие координаты точки осевой линии в видеокдре видеодатчика ВД<sub>1</sub>.

Шаг 4. С угловым шагом 15 угл.мин. вычисляются искомые радиусы фрагментов изображения контролируемой поверхности в видеокдре видеодатчика ВД<sub>1</sub> – радиусов соответствующих точек КП.

При фокусном расстоянии объектива  $f_1=3,5$  мм, модуле видеокамеры с ПЗС-матрицей 1/2 дюйма, при высоте  $h=1750$ мм над КИС вычисляются:

- по (2.8) линейный диапазон видеоизмерения в направлении координатной оси X видеокдра от видеодатчика ВД<sub>1</sub>  $D_x=2400$ мм;

- по (2.9) диаметр изображения фрагмента контролируемой поверхности в видеокдре от видеодатчика ВД<sub>1</sub> в направлении координатной оси Y  $d^*=1$  дискрет;

- по (2.6) число дискретов, выделяемых в направлении координатной оси X видеокдра от видеодатчика ВД<sub>1</sub> при компьютерной обработке  $m=1$  изображений в  $K=8$  видеокдрах  $T_{ХЦ}=4600$  дискрет;

- по (2.25) линейное разрешение и СКП измерений и соответствующих геодезических измерений  $\delta=0,5$ мм и  $m=1$ мм.

Видеоконтрольное устройство, выполненное по приведенной схеме, зарегистрировано в качестве типа средства измерений (Свидетельство RU.E.27.003.A №53123, 2013г.).

Метод реализуется также с помощью лазерного дальномера [31].

В главе также представлены решения задач по измерению: наклона контролируемого объекта [18,26,34-35], планового положения контролируемого объекта относительно струны прямого и обратного отвесов [25,33-35,45], высотного положения подвижного объекта [29].

Как следует из изложенного, на основе видеоизмерений решается широкий круг специальных задач прикладной геодезии на различных объектах.

В главе 5: «Перспективы совершенствования методов видеоизмерений и видеоизмерительных систем» отмечается, что пути дальнейшего развития видеоизмерений связаны с решением новых специальных задач прикладной геодезии [17,20,23] и с совершенствованием аппаратных и программных средств видеоизмерений.

Совершенствование аппаратных средств, прежде всего, связано с использованием в видеоизмерительных системах разработанного автором специализированного видеопроцессора [24,32,34-35], принцип действия которого поясняется рисунком 5.1.

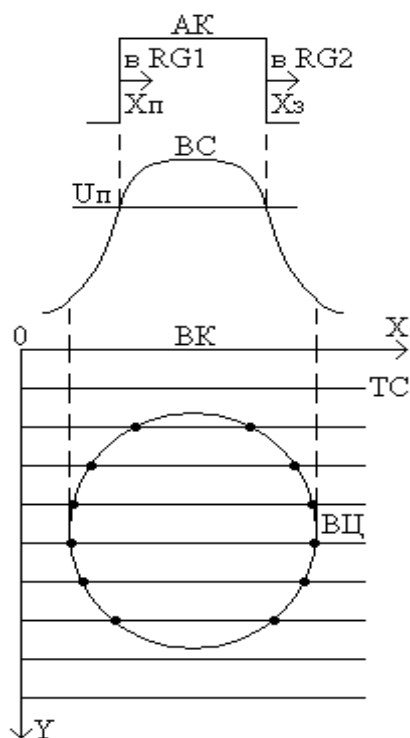


Рисунок 5.1 – Принцип действия специализированного видеопроцессора

При превышении потенциала видеосигнала  $BC$  установленного порогового значения  $U_{\text{п}}$  срабатывает амплитудный компаратор  $AK$  видеопроцессора и содержимое счетчика импульсов кварцевого генератора - координата



$X_{II}$  (передней по ходу телевизионной строки TC) контурной точки изображения визирной цели ВЦ - записывается в регистр RG1 видеопроцессора.

При уменьшении потенциала видеосигнала BC ниже порогового значения  $U_{II}$  вновь срабатывает амплитудный компаратор АК и содержимое того же счетчика - координата  $X_3$  (задней контурной точки изображения визирной цели ВЦ - записывается в регистре RG2.

По завершении видеокадра происходит прерывание микроконтроллерной программы видеопроцессора, полученный массив цифровых данных передается через типовой компьютерный порт за время телевизионного полукадра, позволяя тем самым использование в видеоизмерительных системах практически любых компьютеров.

Совершенствование программных средств видеоизмерений может быть связано с переводом компьютерных программ из операционной системы общего пользования (Windows) в операционную систему реального времени (QNX), что позволит уменьшить время реакции операционной системы на запросы компьютерной программы видеоизмерений.

В **заключении** представлены следующие основные **итоги** диссертационной работы:

- Разработан **новый** в прикладной геодезии **метода** видеоизмерений, основанный на компьютерной обработке изображения наблюдаемого объекта в стандартном телевизионном видеосигнале, обеспечивающий выполнение высокоточных (с относительной погрешностью 0,01%), оперативных (10 измерений в секунду), длительных (в течение срока эксплуатации сооружения), непрерывных и периодических измерений с выдачей конечного результата решаемой задачи в автоматизированном режиме и в реальном времени.

- Разработаны **теоретические основы** видеоизмерений, обеспечивающие с необходимой точностью вычислять параметры видеоизмерений, создавать математические модели видеоизмерений, алгоритмы микропроцессорных и компьютерных программ видеоизмерительных систем.

- Разработаны **методы видеоизмерений** и видеоизмерительные системы для решения следующих задач прикладной геодезии:

- мониторинг плановых и крутильных колебаний высотного сооружения;

- контроль плановых координат точек сооружения в местной координатной системе;

- измерение высотного положения узлов сооружения;

- контроль положения объекта относительно заданного (проектного) направления;

- контроль положения объекта относительно заданного створа;

- передача заданного направления (азимута) с неподвижного основания на подвижный объект в одном горизонте и с одного горизонта на другой;

- мониторинг деформаций несущих конструкций (тубингов) тоннельного сооружения;

- измерение весовых деформаций наклоняемого массивного узла сооружения;

- контроль геометрии внутренней вертикальной цилиндрической поверхности;

- измерение наклона контролируемого объекта;

- измерение положения контролируемого объекта относительно струны прямого и обратного отвесов;

- измерение высотного положения подвижного объекта.

- Разработан **новый в измерительной технике метод** преобразования стандартного телевизионного видеосигнала из аналоговой в цифровую форму и создан специализированный видеопроцессор для видеоизмерений, в котором выделяются координаты контурных точек изображения наблюдаемого объекта в видеокадре и полученные массивы цифровых данных передаются через типовой компьютерный порт (USB) за время одного телевизионного полукадра.

Внедрение новых научно обоснованных технических решений на уникальных инженерных сооружениях в ряде регионов России внесло **значительный вклад в развитие страны.**

В диссертации даны следующие **рекомендации:**

- В видеоизмерительных системах использовать разработанный **автором** специализированный видеопроцессор, что позволяет создавать многоканальные видеоизмерительные системы с параллельной обработкой видеосигналов от многих видеодатчиков, что существенно повышает частоту видеоизмерений.

- Перевод специальной прикладной компьютерной программы из операционной системы общего пользования (Windows) в операционную систему реального времени (QNX), что позволит сократить время обслуживания прерываний в видеоизмерительных системах и тем самым также повысить частоту видеоизмерений.

В диссертации также представлены **перспективы** видеоизмерений, связанные, прежде всего, с решением новых специальных задач прикладной геодезии и других задач.

#### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

##### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1 Буюкян С.П. Видеоизмерение в инженерной геодезии // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2002. - №6. - С.27-34.

2 Буюкян С.П. Видеоизмерительная система контроля координат рабочей точки антенны // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2003. - №1.

3 Буюкян С.П. Видеоизмерительная система гидростатического нивелира // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2003. - №2. - С.128-130.

4 Буюкян С.П. Видеоизмерительные системы для передачи направления с одного горизонта на другой // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2003. - №3. - С.108-118.

5 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П., Жидков А.А., Назаров И.А. Современные метрологические и организационные проблемы создания «геодезических» автоматизированных систем контроля безопасности строительных конструкций // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - №1. - С.33-36.

6 Буюкян С.П. Видеоконтрольное устройство // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - №3. - С.13-16.

7 Буюкян С.П. Видеостворофиксатор // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - №5. - С.45-46.

#### **Патенты на изобретения:**

8 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Отсчетное устройство гидростатического нивелира. - Патент на изобретение RU №2112922. – Бюл. №16, 1998.

9 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Пороговый уровнемер. - Патент на изобретение RU №2145061. – Бюл. №3, 2000.

10 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е., Цветков В.И., Ленский Ю.В., Якушев В.Г., Каменский Л.П. Устройство передачи горизонтального направления с одного горизонта на другой. - Патент на изобретение RU №2152591. – Бюл. №19, 2000.

11 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Уровнемер. - Патент на изобретение RU №2160430. – Бюл. №34, 2000.

12 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Устройство для передачи горизонтального направления с одного горизонта на другой. - Патент на изобретение RU №2174215. – Бюл. №27, 2001.

13 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Устройство для передачи горизонтального направления с одного горизонта на другой. - Патент на изобретение RU. - №2174216. – Бюл. №27, 2001.

14 Буюкян С.П., Гинце А.С., Шекшня В.В., Колесников А.А., Рубинчик Э.Б., Никоноров В.Б., Рязанцев Г.Е. Устройство автоматического контроля положения проходческого комплекса. - Патент на изобретение RU №2197616. – Бюл. №3, 2003.

15 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е., Соломонов Л.С., Каменский Л.П., Ленский Ю.В., Цветков В.И. Устройство для передачи горизонтального направления с одного горизонта на другой. - Патент на изобретение RU №2204116. – Бюл. №13, 2003.

16 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е., Соломонов Л.С., Каменский Л.П., Ленский Ю.В., Цветков В.И. Устройство для передачи направления с одного горизонта на другой. - Патент на изобретение RU №2219494. - Бюл. №35, 2003.

17 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е., Солдатов В.С. Устройство для измерения плотности жидкости. - Патент на изобретение RU №2251678, - Бюл. №13, 2005.

18 Безматерных М.В., Буюкян С.П. Видеонаклономер. - Патент на изобретение RU №2258906. – Бюл. №23, 2005.

19 Безматерных М.В., Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Видеостворофиксатор. - Патент на изобретение RU №2275600. – Бюл. №12, 2006.

20 Буюкян С.П., Солдатов В.С. Датчик давления жидкости в резервуаре. - Патент на изобретение RU №2301412. - Бюл. №17, 2007.

21 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Видеоизмеритель плановых координат контролируемого объекта. - Патент на изобретение RU №2303765. – Бюл. №21, 2007.

22 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Видеоизмеритель координат контролируемой точки объекта. - Патент на изобретение RU №2308002. – Бюл. №28, 2007.

23 Зайцев Д.С., Солдатов В.С., Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Видео-рефрактометр. - Патент на изобретение RU №2315286. - Бюл. №2, 2008.

24 Буюкян С.П. Видеопроцессор для обработки видеосигнала в видеоизмерительных системах. - Патент на изобретение RU №2395929. – Бюл. №21, 2010.

25 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Координатометр струны обратного отвеса. - Патент на изобретение RU №2398187. – Бюл. №24, 2010.

26 Буюкян С.П., Янин И.А. Видеонаклономер. - Патент на изобретение RU №2419071. – Бюл. №14, 2011.

27 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е., Гончаров А.Ф., Цветков А.В. Видеоустройство для контроля неровностей внутренней вертикальной цилиндрической поверхности. - Патент на изобретение RU №2425327. – Бюл. №21, 2011.

28 Буюкян С.П., Рязанцев Г.Е. Видеоавтоколлиматор. - Патент на изобретение RU №2455668. – Бюл. №33, 2011.

29 Буюкян С.П., Буюкян З.П., Буюкян А.З. Видеовысотометр. - Патент на изобретение RU №2523745. – Бюл. №20, 2014.

30 Буюкян С.П. Видеоустройство для передачи заданного направления с одного горизонта на другой. - Патент на изобретение RU №2583059. – Бюл. №13, 2016.

31 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П., Лапин А.И. Видеоизмерительное устройство для контроля неровностей внутренней вертикальной цилиндрической поверхности. – Патент на изобретение RU №2584370. – Бюл. №14, 2016.

32 Буюкян С.П. Видеопроцессор для видеоизмерений. - Патент на изобретение RU №2598790. - Бюл. №27, 2016.

**Патент на полезную модель:**

33 Буюкян С.П. Видеокоординатометр. - Патент РФ на полезную модель №89889. – Бюл. №35, 2009.

**Монографии:**

34 Буюкян С.П. Видеоизмерительные системы – М.: МИИГАиК, 2008. – 72с.

35 Буюкян С.П. Видеоизмерение и видеоизмерительные системы – М.: МИИГАиК, 2010. – 99с.

### **Публикации в других изданиях:**

36 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П., Жидков А.А., Надолинец Л.Д. Методы и средства автоматизации инструментального геомониторинга при строительстве и эксплуатации подземных сооружений // Тр. Юбилейной научно-практической конференции «Подземное строительство России на рубеже XXI века, итоги и перспективы». – 2000. - С.436-443.

37 Жидков А.А., Буюкян С.П., Надолинец Л.Д., Горелов В.А. Автоматическая система наблюдений весовых деформаций радиотелескопа ТНА-1500 // «Геодезист». – 2001. - №6. - С.28-29.

38 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П. Методы и средства автоматизированного инструментального мониторинга при строительстве и эксплуатации тоннелей. Труды международной научно-практической конференции «Тоннельное строительство России и стран СНГ в начале века: опыт и перспективы». – 2002. - С.507-509.

39 Рязанцев Г.Е., Бубман И.С., Буюкян С.П. Современные методы и средства автоматизации геодезических наблюдений за деформациями строительных конструкций // «Геодезист». – 2003. - №1-6. - С.21-24.

40 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П. Методы и средства автоматизированного инструментального геотехнического мониторинга // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2003. - №3. - С.22-25.

41 Souren P. Vujukjan and Igor J. Vasyutinskiy: Videomeasuring Hydrostatic System. 125<sup>th</sup> Anniversary of FIG. Paris, April 13-17, 2003.

42 Рязанцев Г.Е., Буюкян С.П. Методы и средства автоматизированного инструментального геотехнического мониторинга на основе видеоизмерений. Тр. Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Аэрокосмические съемки и фотограмметрия. – 2004. - С.117-120.

43 Буюкян С.П., Бодунков П.В. Особенности компьютерных программ видеоизмерений. Тр. Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Аэрокосмические съемки и фотограмметрия. – 2004. - С.175-177.

44 Буюкян С.П., Безматерных М.В., Бодунков П.В. Аппаратурно-программный комплекс оперативного контроля плановых положений рабочих точек антенн угломерной радиотехнической системы. Тр. Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Геодезия. – 2004. - С.237-241.

45 Буюкян С.П., Безматерных М.В., Бодунков П.В., Никитин П.А. Автоматизация измерений планового положения струны обратного отвеса. Тр. Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Геодезия. – 2004. - С.251-253.

46 Буюкян С.П., Безматерных М.В. Цифровой видеоавтоколлиматор. Тр. Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК, Геодезия. – 2004. - С.254-256.

47 Рязанцев Г.Е., Седелникова И.А., Буюкян С.П. Современные автоматизированные системы контроля деформаций высотных зданий // «Технологии бетонов». – 2005. - №2. - С.35-37.

48 Буюкян С.П., Бодунков П.В. Особенности компьютерных программ видеоизмерений. Юбилейный сб. трудов МГСУ. - 2006. - С.90-91.

49 Буюкян С.П., Бодунков П.В. Мобильная видеоизмерительная система (МВС) мониторинга состояния строительных конструкций Лефортовского тоннеля. Юбилейный сб. трудов МГСУ. - 2006. - С.92-97.